

# Absicherungsmethode von Anzeigekonzepten zur Darstellung fahrfremder Informationen mittels eines Motorrad-Fahrsimulators

Vom Fachbereich Maschinenbau der  
Technischen Universität Darmstadt  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)  
genehmigte

## Dissertation

vorgelegt von

**Sebastian Guth, M.Sc.**  
aus Bad Wildungen

Erstreferent: Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner  
Korreferent: Prof. Dr. phil. Klaus Bengler

Tag der Einreichung: 24. Oktober 2016  
Tag der mündlichen Prüfung: 17. Januar 2017

Darmstadt, 2017  
D 17



---

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen von Forschungsarbeiten bei BMW Motorrad in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Darmstadt.

Ich möchte zu Anfang meinem Doktorvater Prof. Dr. Hermann Winner für die Übernahme der Betreuung und dem damit verbundenen Vertrauensvorschuss in diese Forschungsarbeit herzlichst danken. Durch Rücksprachen mit ihm blieb diese Arbeit stets auf den Wegen des systematischen, wissenschaftlichen Arbeitens.

Auf der Seite von BMW Motorrad stand mir Dr. Michael Geiger stets mit Rat und Tat zur Seite. Vor allem für das sich schnell etablierte freundschaftliche Verhältnis, das Vertrauen in mein Vorgehen und dem damit verbundenen sprichwörtlichen „freie Hand lassen“ möchte ich ihm sehr danken.

Meinen Dank schulde ich außerdem Günter Dettloff, meinem ehemaligen Gruppenleiter. Er überzeugte meinen Betreuer Dr. Michael Geiger, das Fahrsimulator-Projekt mit mir in Person zu initiieren und sorgte für finanzielle sowie personelle Unterstützung.

An der Entwicklung des Fahrsimulators hatte Dr. Florian Laquai maßgeblichen Einfluss. Durch seine Ideen sowie Umsetzungen trug er einen großen Schritt dazu bei, dass der BMW Motorrad-Fahrsimulator zu diesem hochwertigen Werkzeug geworden ist. Zusätzlich unterstützten mich mehrere Studenten, von denen ich Alexander Buschle, Antonio Doz Nadal, Martin Söllner und Arben Parduzi namentlich danken möchte.

Ein Teil dieser Arbeit wurde im Rahmen eines gemeinsamen Projektes mit den Projektpartnern Raphael Pless von der Technischen Universität Darmstadt und Sebastian Will vom Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften durchgeführt. Ihnen gilt mein Dank für das freundschaftliche Zusammenarbeiten bei diversen Diskussionen zu den Themen Motorrad-Fahrdynamik sowie Statistik und Psychologie.

Für die Bereitschaft, an meinen Studien teilzunehmen sowie für die im Anschluss oft entstandenen Diskussionen zum Thema Fahrsimulation danke ich meinen Kollegen von BMW Motorrad.

Zur Korrektur trugen maßgeblich meine Tante Sieglinde Strieder sowie meine Lebenspartnerin Stephanie Siegfried bei. Für ihre Unterstützung bin ich ihnen sehr dankbar. Sowohl die Motivation als auch die regelmäßige Ablenkung durch meine Lebenspartnerin halfen mir, die Promotionsarbeit abzuschließen.

Sebastian Guth

München, im Juli 2016





---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Ausgangssituation . . . . .	1
1.2	Zielsetzung . . . . .	2
1.3	Methodik . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
2.1	Anzeige- und Bedienkonzepte von PTW . . . . .	5
2.2	Modell zur Fahrzeugführung . . . . .	7
2.3	Menschliche Informationsverarbeitung . . . . .	8
2.3.1	Parallele Signalverarbeitung . . . . .	8
2.3.2	Belastung und Beanspruchung . . . . .	9
2.3.3	Workload . . . . .	10
2.3.4	Beanspruchungsbereiche: Unterforderung, Herausforderung, Überforderung . . . . .	11
2.4	Indikatoren zur Messung der Fahrerbeanspruchung und Folgen der Beanspruchung . . . . .	13
2.4.1	Verhaltensebene . . . . .	13
2.4.2	Berichtete Ebene . . . . .	16
2.4.3	Physiologische Ebene . . . . .	17
<b>3</b>	<b>Fahrsicherheit bezogen auf Anzeige- und Bedienkonzepte</b>	<b>22</b>
3.1	Definition von Fahrsicherheit . . . . .	22
3.2	Einflussanalyse von Anzeige- und Bedienkonzepten auf die Fahrsicherheit . . . . .	25
3.2.1	Interaktionsanalyse zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt . . . . .	25
3.2.2	Änderung der Fahrsicherheit durch Beeinflussung einzelner menschlicher Informationsverarbeitungsprozessschritte . . . . .	27
3.3	Zwischenfazit . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Internationale Richtlinien zur Gestaltung von ABk für den Pkw-Sektor</b>	<b>30</b>
4.1	Zusammenfassung aktueller Richtlinien . . . . .	30
4.2	Prüfung der Übertragbarkeit . . . . .	34
4.2.1	Physische Belastung . . . . .	35
4.2.2	Psychische Belastung . . . . .	36
4.3	Zwischenfazit . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Auswahl des Bewertungskonzepts</b>	<b>39</b>
5.1	Vergleichende Beurteilung von ABk . . . . .	39
5.2	Auswahl der Messumgebung: Dynamischer Motorrad-Fahrsimulator . . . . .	40
5.3	Kriterien zur Auswahl von Indikatoren . . . . .	42
5.4	Zwischenfazit . . . . .	46

<b>6</b>	<b>Vorgehen zur Indikatorensuche</b>	<b>47</b>
6.1	Vorgehen zur Auswahl der Indikatoren . . . . .	47
6.2	Vorauswahl der Indikatoren . . . . .	48
6.2.1	Vorauswahl im Bereich der physiologischen Ebene . . . . .	50
6.2.2	Vorauswahl im Bereich Berichtete Ebene . . . . .	52
6.2.3	Vorauswahl im Bereich der Verhaltensebene . . . . .	55
6.2.4	Vergleich der Vorauswahl mit Indikatoren aus aktuellen Richtlinien	58
6.3	Zwischenfazit . . . . .	58
6.4	Gemeinsamkeiten der durchgeführten Studien . . . . .	60
6.4.1	Beweisführung . . . . .	60
6.4.2	Versuchsumgebung Fahrsimulator . . . . .	61
6.4.3	Streckenprofile . . . . .	65
6.4.4	Versuchsablauf . . . . .	67
6.4.5	Demografische Daten . . . . .	68
6.4.6	Fahraufgabe . . . . .	69
6.4.7	Statistisches Testverfahren . . . . .	71
<b>7</b>	<b>Studie 1: Prozessschritt Detektion</b>	<b>73</b>
7.1	Hypothesenformulierung . . . . .	73
7.2	Randbedingung: Nebenaufgabe . . . . .	75
7.3	Gültigkeitsbereich der Ergebnisse . . . . .	77
7.4	Auswertung . . . . .	78
7.5	Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl . . . . .	84
7.6	Kurzfazit . . . . .	85
<b>8</b>	<b>Studie 2: Prozessschritt Verarbeitung</b>	<b>86</b>
8.1	Hypothesenformulierung . . . . .	86
8.2	Randbedingung: Nebenaufgabe . . . . .	88
8.3	Gültigkeitsbereich der Ergebnisse . . . . .	90
8.4	Auswertung . . . . .	90
8.5	Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl . . . . .	95
8.6	Kurzfazit . . . . .	96
<b>9</b>	<b>Studie 3: Prozessschritt Priorisierung</b>	<b>97</b>
9.1	Hypothesenformulierung . . . . .	97
9.2	Randbedingung: Fahraufgabe . . . . .	99
9.3	Randbedingung: Nebenaufgabe . . . . .	100
9.4	Gültigkeitsbereich der Ergebnisse . . . . .	100
9.5	Auswertung . . . . .	101
9.6	Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl . . . . .	104
9.7	Kurzfazit . . . . .	104
<b>10</b>	<b>Studie 4: Aufmerksamkeitsressourcen</b>	<b>105</b>
10.1	Hypothesenformulierung . . . . .	105
10.2	Randbedingung: Fahraufgabe . . . . .	107
10.3	Randbedingung: Nebenaufgabe . . . . .	107
10.4	Gültigkeitsbereich der Ergebnisse . . . . .	108

10.5 Auswertung . . . . .	109
10.6 Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl . . . . .	113
10.7 Kurzfazit . . . . .	114
<b>11 Zusammenfassung und erste Anwendung der Indikatoren</b>	<b>115</b>
11.1 Zusammenfassung der Studienergebnisse . . . . .	115
11.2 Studie 5: Anwendung der Indikatoren . . . . .	117
11.2.1 Fahraufgabe . . . . .	117
11.2.2 Nebenaufgabe . . . . .	117
11.2.3 Erwartetes Indikatorverhalten . . . . .	117
11.2.4 Ergebnisse . . . . .	119
11.2.5 Diskussion der Ergebnisse . . . . .	120
11.2.6 Kurzfazit . . . . .	121
<b>12 Zusammenfassung</b>	<b>122</b>
12.1 Ausblick . . . . .	124
<b>13 Anhang</b>	<b>125</b>
13.1 Simulator Sickness Questionnaire . . . . .	126
13.2 Rider Activity Load Index (RALI) . . . . .	128
13.3 Surrogate Recognition Task . . . . .	129
13.4 Ergänzungen zum Prozessschritt Detektion . . . . .	131
13.5 Ergänzungen zum Prozessschritt Verarbeitung . . . . .	136
13.6 Ergänzungen zum Prozessschritt Priorisierung . . . . .	144
13.7 Ergänzungen zur Studie Aufmerksamkeitsressourcen . . . . .	152
13.8 Ergänzungen zur Anwendung der Indikatoren in der Beispielstudie . . . . .	160
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>163</b>

---

# Abkürzungsverzeichnis

A-nbT	Acoustical n-back Task
AAM	Alliance of Automotive Manufacturers
ABk	Anzeige- und Bedienkonzept
ABS	Antiblockiersystem
AFP	Aufgabenbedingte Flächenänderung der Pupille
AOI	Area of Interest
ASR	Antriebsschlupfregelung
BLV	Blicklängenverhältnis
EORT	Eye-Off-Road-Time
ESoP	European Statement of Principles
GFP	Gesamte Flächenänderung der Pupille
JAMA	Japanese Automotive Manufacturers Association
MFP	Mittlere Pupillenfläche
MGD	Mean-Glance-Duration
MMC	Motorcycle-Multi-Controller
NHTSA	National Highway Traffic Safety Agency
O-1bT	Optical 1-back Task
PerClos	Percentage of Eye Closure
PTW	Powered Two-Wheeler
RALI	Rider Activity Load Index
SDLP	Standard Deviation of Lateral Position
SdZl	Standardabweichung der Zeitlücke
SuRT	Surrogate Reference Task

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangssituation

Die Bedienung eines motorisierten Zweirads (Powered Two-Wheeler, kurz: PTW) unterliegt durch technische Weiterentwicklungen einem stetigen Wandel: Regelsysteme wie beispielsweise das Antiblockiersystem (ABS) oder die Antriebsschlupfregelung (ASR) sollen den Fahrer bei der Bewältigung der Fahraufgabe unterstützen. Zusatzfunktionen wie Sitzheizung oder Infotainment-Systeme sorgen für mehr Komfort während der Motorradfahrt. Durch die damit verbundene stark steigende Anzahl bedienbarer Funktionen während der Motorradfahrt stehen die Entwickler dieser Funktionen vor der Herausforderung, die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Fahrer zu optimieren, sodass der Fahrer alle gewünschten Funktionen nutzen bzw. Informationen aufnehmen kann, ohne die Fahrsicherheit zu verringern. Dies betrifft sowohl Fahrereingaben als auch Informationsausgaben durch umfangreichere Anzeige- und Bedienkonzepte (ABk). ABk unterscheiden sich hier unter anderem darin, wie viel Information gleichzeitig angezeigt wird und wie viele Funktionen gleichzeitig bedienbar sind. Vergleicht man beispielsweise die Konzepte zweier Motorräder wie einer Honda Gold Wing<sup>1</sup> mit dem einer BMW K1600 GT<sup>2</sup>, siehe Abbildung 1.1, sieht man, dass links im Bild viele Funktionen über ein Multi-Funktionsbedienelement (Motorrad-Multi-Controller, kurz MMC) auswählbar sind, während im Bild rechts möglichst viele Funktionen mit einem eigenen Knopf/Schalter versehen wurden. Um mögliche



**Abbildung 1.1:** Vergleich von zwei ABk - links: BMW K1600 GT Bj. 2010; rechts: Honda Goldwing Bj. 2010

<sup>1</sup>Honda Gold Wing Baujahr 2010

<sup>2</sup>BMW K1600 GT Baujahr 2010

Auswirkungen solch unterschiedlicher Konzepte auf die Fahrsicherheit untersuchen zu können, entsteht der Bedarf eines Messverfahrens. Im Pkw-Sektor ist die potentielle Ablenkung durch Nebenaufgaben<sup>3</sup> und ein damit verbundenes gesteigertes Unfallrisiko nachgewiesen (siehe Literaturhinweis<sup>4</sup>). Bevor erste Richtlinien von staatlicher Seite (z.B. Richtlinien der NHTSA<sup>5</sup> oder Europäischen Kommission<sup>6</sup>) entwickelt wurden, erarbeiteten mehrere Automobilhersteller selbstverpflichtende Richtlinien<sup>7</sup>, um die Bedienung von Nebenaufgaben zu beschränken. Durch die zeitversetzte Markteinführung von Funktionen wie Navigationssystemen im PTW-Sektor relativ zum Pkw-Sektor steht die Ausarbeitung von Richtlinien für den Zweiradsektor noch am Anfang<sup>8</sup>.

Wie den aufgeführten Richtlinien zu entnehmen ist, stellt die durch einen Fahrsimulator gestützte Überprüfung neuer Anzeige- und Bedienkonzepte bezüglich des Einflusses auf die Fahrsicherheit im Bereich Pkw einen festen Bestandteil des Entwicklungsprozesses von ABk dar. Fahrsimulatoren bieten gegenüber Realfahrten viele Vorteile, wie beispielsweise reproduzierbare Umweltbedingungen und Fahrsituationen sowie eine für den Probanden ungefährliche Testumgebung<sup>9</sup>. Zur Beurteilung des Einflusses der ABk auf den Fahrer werden meist Indikatoren herangezogen, die das Blickverhalten sowie die Fahrleistung beurteilen (einen Überblick bietet unter anderem<sup>10</sup>).

## 1.2 Zielsetzung

Es ist ein Messverfahren, bestehend aus einem oder mehreren Indikatoren, zu entwickeln, das die Einflüsse der Anzeigevarianten verschiedener ABk auf die Fahrsicherheit wiedergibt. Die Bedienelemente sind hierbei konstant zu halten, um den Einfluss dieser getrennt untersuchen zu können. Das Messergebnis ermöglicht einen Vergleich zwischen zwei ABk und stellt die Unterschiede zwischen den ABk mindestens ordinal dar. Zur Ermittlung des Einflusses von ABk auf die Fahrsicherheit ist eine Messumgebung zu entwickeln, die reproduzierbare und valide Messergebnisse sicherstellt. Da die Fahrsicherheit variiert wird, ist im Besonderen auf die Sicherheit der Probanden (mögliche Unfallgefahr) während der Nutzung der Messumgebung zu achten.

## 1.3 Methodik

Diese Arbeit ist nach der Top-Down-Methode strukturiert, wie in Abbildung 1.2 dargestellt. Nach einem Grundlagenteil zum bearbeiteten Themenfeld (Kap. 2) erfolgt die Klärung der wissenschaftlichen Ausgangslage der Untersuchungen (Kap. 3).

---

<sup>3</sup>Aufgaben, die während der Fahrt ausgeführt werden und nicht die Fahrzeugführung betreffen, siehe auch Kap. 2.2

<sup>4</sup>Vollrath et al. (2015): Ablenkung durch... S. 67ff.

<sup>5</sup>Department of Transportation (2012): Visual-Manual NHTSA....

<sup>6</sup>The Commission Of The European Communities (2006): Commission Recommendation....

<sup>7</sup>Driver Focus-Telematics Working Group (2002): Statement of Principles....

<sup>8</sup>vgl. beispielsweise: Erstes ab Werk verfügbares GPS-basiertes Pkw-Navigationssystem erschien im Mazda Cosmo 1990 (siehe TEN: The Enthusiast Network (2013): 1993 Eunos/Mazda...), erstes optional ab Werk integriertes Navigationssystem auf einem PTW erschien von Honda in dem Modell Gold Wing im Jahr 2007 (siehe Helfrich et al.: motorradwallpaper.de)

<sup>9</sup>Winner et al. (2015): Handbuch Fahrerassistenzsysteme... S. 57.

<sup>10</sup>Green (2008): Driver Interface/HMI....

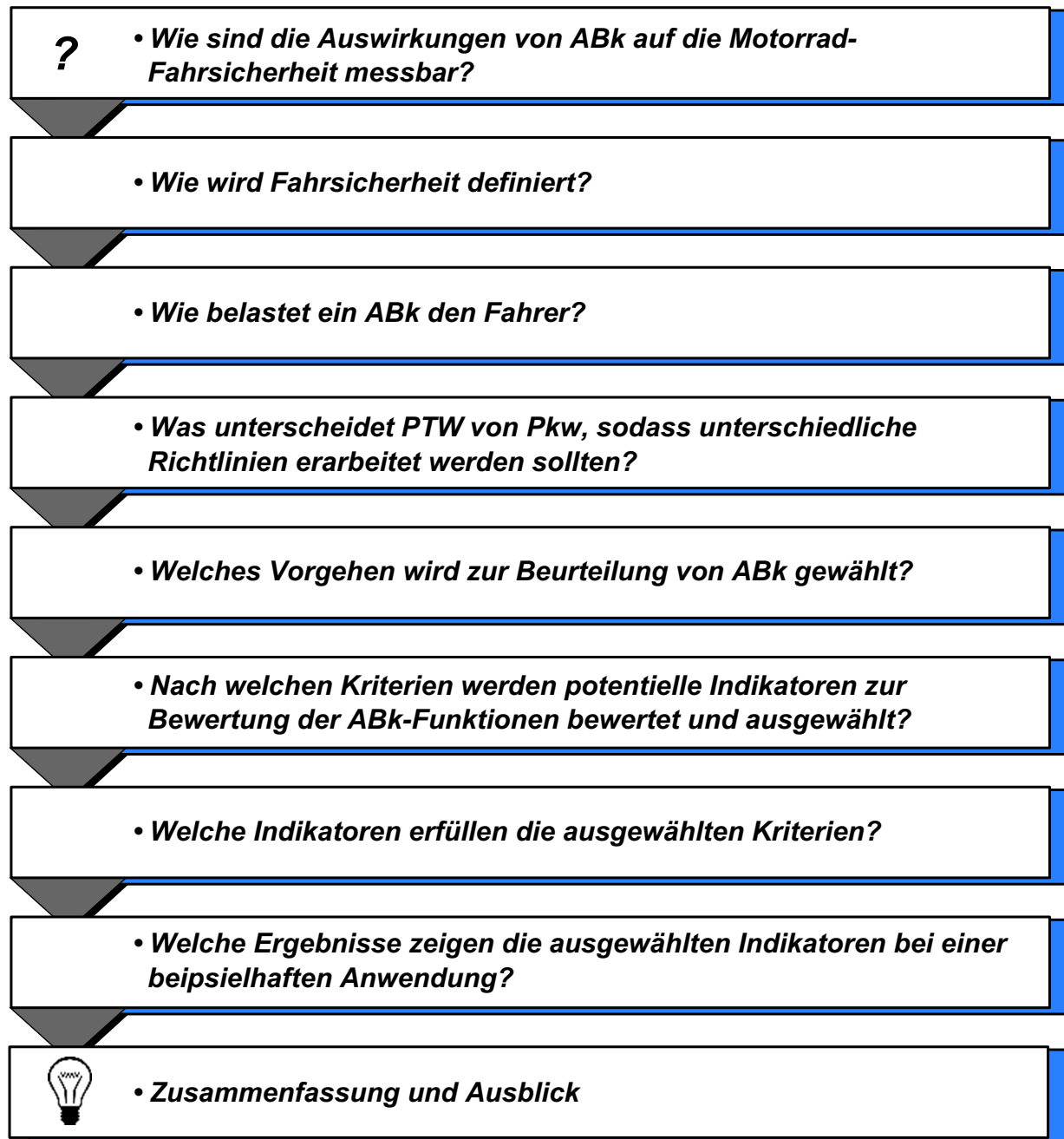


Abbildung 1.2: Argumentationskette und Struktur der Ausarbeitung

Die Kapitel 3 bis 5 zeigen den für diese Arbeit relevanten aktuellen Stand der Forschung. In einem ersten Schritt erfolgt die Verknüpfung des Begriffes der Fahrsicherheit mit der Thematik der Anzeige- und Bedienkonzepte (Kap. 3). Dieses Kapitel umfasst eine Definition des Begriffes der Fahrsicherheit für die vorliegende Aufgabe. Darauf aufbauend wird dargestellt, welche Sinneskanäle ein ABk beim Führen eines PTW belastet und wie der Fahrer in den menschlichen Verarbeitungsschritten (Detektion, Wahrnehmung, Entscheidung, Ausführung) durch diese Belastungen beansprucht wird. Die Schlussfolgerung dieses Kapitels ist, dass alle Verarbeitungsschritte parallel beobachtet werden müssen, um die Fahrsicherheit beim Führen eines PTW umfassend zu überwachen.

Nachdem potentielle Einflüsse von ABk auf die Fahrsicherheit identifiziert sind, erfolgt in Kapitel 4 eine Vorstellung aus dem Pkw-Sektor bekannter Richtlinien sowie eine Prüfung, ob diese Richtlinien auf den PTW-Sektor übertragbar sind. Unter anderem bedingt durch eine variabelere Beanspruchung des Fahrzeugführenden durch die Fahraufgabe, wird nicht empfohlen, die Richtlinien vorbehaltlos zu übertragen.

Kapitel 5 schlägt eine Methodik vor, wie ABk von PTW vergleichbar sind. Bedingt durch die genannten hohen Schwankungen der Fahrerbelastung beim Führen eines PTW wird nicht empfohlen, feste Beanspruchungsgrenzwerte zur Beschränkung von ABk vorzugeben. Stattdessen wird ein relativer Vergleich zu bewertender Funktionen von zwei ABk vorgeschlagen. Hierbei soll ein paarweiser Vergleich von noch zu definierenden Indikatoren, welche die menschlichen Verarbeitungsschritte beobachtbar machen (Kap. 5.1), durchgeführt werden. Als sichere Messumgebung mit reproduzierbaren Umweltbedingungen und Verkehrssituationen wird ein Motorrad-Fahrsimulator vorgeschlagen (Kap. 5.2).

Die Kapitel 6 bis 10 stellen die Hauptkapitel dieser Arbeit dar und beschreiben die Auswahl der Indikatoren zur Bewertung der ABk bezüglich ihres Einflusses auf die Fahrsicherheit. Zur Findung der Indikatoren ist in Kapitel 6 aufgezeigt, nach welchen Kriterien aus der Vielzahl bekannter Indikatoren des Pkw-Sektors potentielle Indikatoren für die jeweiligen Verarbeitungsschritte ausgewählt werden können. Eine Vorauswahl sollte durch Prüfung der Umsetzbarkeit der Indikatorbestimmung bei der gegebenen Messumgebung durchgeführt werden. Das Ergebnis der Vorauswahl von Indikatoren sowie ein Vorschlag zur Zuordnung der Indikatoren zu den jeweiligen Verarbeitungsschritten ist ebenfalls in diesem Kapitel beschrieben (siehe Kap. 6.2).

Die Prüfung der Indikatoren bezüglich der erarbeiteten Kriterien erfolgt experimentell durch vier Versuche in zwei Simulatorstudien. Gemeinsamkeiten der Studien sind in Kapitel 6.4 genannt, um mehrfache Schilderung der gleichen Randbedingungen zu vermeiden. In den Simulatorstudien (Kap. 7 bis 10) werden Probanden durch Nebenaufgaben in jeweils einem der Verarbeitungsschritte unterschiedlich stark belastet, während die Belastung in den anderen Schritten minimal und konstant gehalten wird. Hierbei wird die Aussagekraft der vorausgewählten Indikatoren für den jeweiligen Verarbeitungsschritt geprüft. Eine Annahme oder Ablehnung der vorausgewählten Indikatoren nach jeder Studienvorstellung schließt das jeweilige Kapitel ab.

Kapitel 11.1 fasst die Ergebnisse der Indikatorenprüfung zusammen.

Den Abschluss der Arbeit bildet eine Bewertung von drei unterschiedlichen Darstellungsformen von Informationen auf einem frei programmierbaren Anzeigeelement (Kap. 11.2). Mittels der ausgewählten Indikatoren erfolgt eine mehrdimensionale Beurteilung der Darstellungen. Somit wird die Anwendbarkeit der Indikatoren gezeigt.

Kapitel 12 fasst die Arbeit zusammen und zeigt einen Ausblick auf mögliche weitere Forschungsfelder.



---

## 2 Grundlagen

Zum besseren Verständnis der Arbeit wird dem Leser, der die ABk-Entwicklung von PTW nicht verfolgt, in diesem Kapitel vorgestellt, welche unterschiedlichen Ausprägungen ABk für PTW aktuell besitzen.

Zur Erklärung, welche Wechselwirkungen zwischen Fahrer, Fahrzeug (inklusive ABk) und Umwelt beim Führen eines PTW bestehen, werden modellhaft Informationsflüsse zwischen den drei Komponenten aufgezeigt sowie die Verarbeitung dieser Informationen im menschlichen Signalverarbeitungsprozess inklusive daraus abgeleiteter Reaktionen.

Den Abschluss bildet eine kurze Erklärung der im Rahmen dieser Arbeit genutzten Indikatoren zur Messung von Fahrerbeanspruchung.

### 2.1 Anzeige- und Bedienkonzepte von PTW

Eine Zusammenfassung von Bedienelementen am PTW zur Ausübung der primären und sekundären Fahraufgabe (siehe Kap. 2.2) ist in der Dissertation von Schell<sup>1</sup> zu finden. Die Schilderung von Anzeige- und Bedienelementen zur Ausübung tertiärer Aufgaben beim Führen eines PTW wird im Folgenden vorgestellt.

Während die Bedienung der primären und sekundären Fahraufgabe für PTW mittlerweile stark standardisiert ist<sup>1</sup>, kann dies für die Bedienung von tertiären Aufgaben aktuell nicht behauptet werden (vgl. Bilder links und rechts in Abb. 1.1). Bezüglich der Bedienelemente lassen sich zwei Grundkonzepte unterschiedlicher Konzepte identifizieren:

1. Hierarchische Bedienung: Auswahl vieler Funktionen mittels eines mehrdimensional betätigbaren Bedienelements (Dreh-Drück-Kipp-Steller, Joy-Stick, etc.)
2. Direkte Bedienung: Ansteuerung jeweils einer Funktion durch einen Knopf oder Hebel

Zwischen diesen Extrema existiert eine Vielzahl von Bedienkonzepten, die sich aus unterschiedlichen Gewichtungen dieser zwei Konzepte zusammensetzen. Beide Konzepte besitzen Vor- und Nachteile: Während beispielsweise ein zentrales Bedienelement mit einer hierarchischen Bedienlogik es ermöglicht, die Bedienelementzahl zu minimieren bei beliebig vielen Funktionen, besteht ein Vorteil des zweiten Konzepts darin, dass eine direkte Verknüpfung eines Knopfes mit einer Funktion die sofortige Auswahl ermöglicht - zu Ungunsten der Übersichtlichkeit.

Auch die Anzeigeelemente von PTW zeigen unterschiedliche Funktions- und Designausprägungen. Abbildung 2.1 zeigt eine Auswahl von Anzeigen verschiedener Fahrzeugkonzepte.

---

<sup>1</sup>Schell (2002): Untersuchungen zur Mensch-Maschine-Schnittstelle... S. 25ff.

<sup>2</sup>Allroad MC Touring (2015): [allroadendurotouring.com](http://allroadendurotouring.com)

<sup>3</sup>Harley-Davidson Germany GmbH (2016): [harley-davidson.com](http://harley-davidson.com)

<sup>4</sup>House of Flames Ulm GmbH (2016): [house-of-flames.com](http://house-of-flames.com)

<sup>5</sup>Blogo.it srl (2010): [motoblog.it](http://motoblog.it)

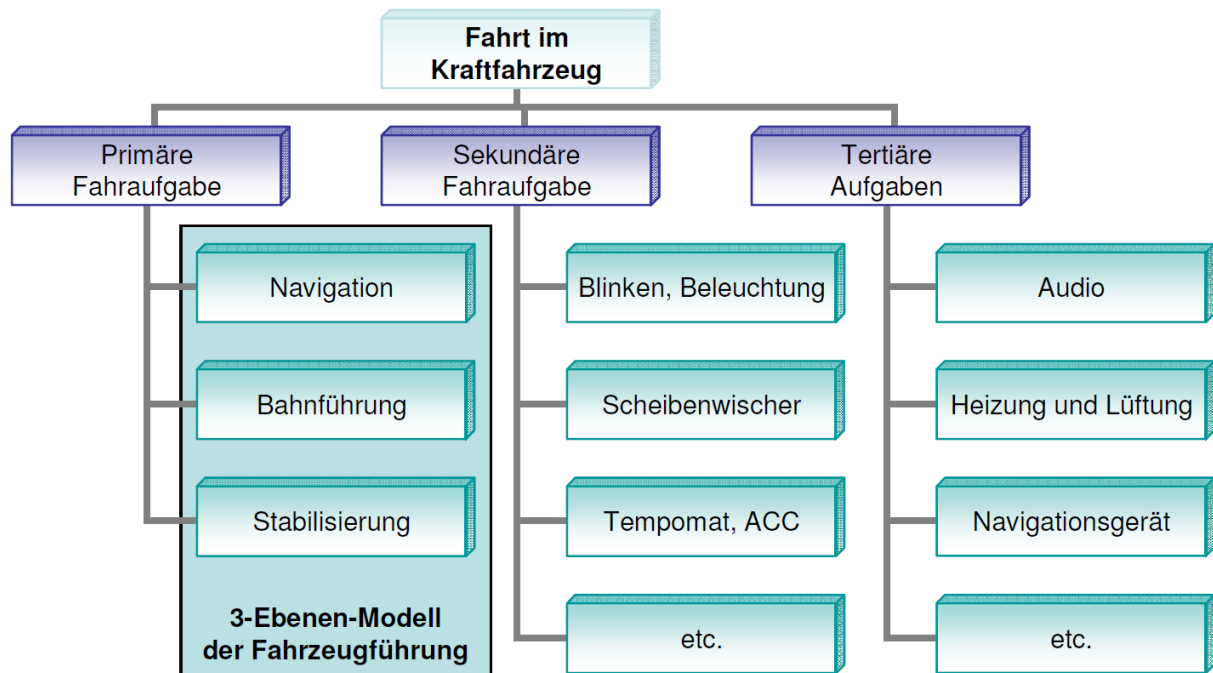


**Abbildung 2.1:** Anzeige-Konzepte: oben links - Enduro: KTM 1190 Adventure Bj. 2015<sup>2</sup>, oben rechts - Chopper-Fulldresser: Harley-Davidson Road Glide Special Bj. 2015<sup>3</sup>, Mitte links - Chopper-Pure: Sonderzubehör für div. Harley-Davidson Modelle<sup>4</sup>, Mitte rechts - Tourer: Honda Gold Wing, Bj. 2011<sup>5</sup>, unten links - Roadster: BMW R1200R Bj. 2015, unten rechts Supersportler: BMW S1000RR Bj. 2015

Generell lassen sich fahrzeugkonzeptabhängig unterschiedliche Philosophien erkennen: Supersportler sowie puristisch gehaltene Fahrzeuge aus dem Cruiser-Segment legen Wert auf wenige Anzeige- und Bedienelemente. Das Touring-Segment dagegen bietet dem Fahrer eine Vielzahl tertiärer Funktionen an. Damit einhergehend ist die Anzahl gleichzeitig angezeigter Informationen dort deutlich größer.

## 2.2 Modell zur Fahrzeugführung

Zur Eingliederung der ABk-Bedienung in den Kontext der Fahrzeugführung werden hier die Aufgaben während einer Fahrt erläutert. Die Fahraufgabe lässt sich nach Geiser<sup>6</sup> in drei Bereiche (primär bis tertiär) aufteilen, siehe Abbildung 2.2. Die primäre Fahraufgabe umfasst das längs- und querdynamische Führen des Fahrzeugs und lässt sich nach dem Drei-Ebenen-Modell der Fahrzeugführung<sup>7</sup> weiter in Navigation, Bahnführung und Stabilisierung untergliedern.



**Abbildung 2.2:** Unterteilung der Fahrzeugführung in primäre bis tertiäre Fahraufgabe<sup>6</sup> inklusive drei Ebenen-Modell der Fahrzeugführung<sup>7</sup> (nach einer Abbildung von Negele<sup>8</sup>)

Der Teilaspekt Navigation beschreibt hierbei die geistige Planung der Route zum Ziel - nicht die Bedienung eines Navigationssystems (siehe tertiäre Aufgaben). Einen zeitlich weniger vorausschauender Aspekt der primären Fahraufgabe stellt die Bahnführung dar. Hierunter fällt beispielsweise die Wahl des Fahrstreifens während der Fahrt. Die Regelaufgabe zur Einhaltung des Sollkurses durch die Fahrereingaben fällt in den Bereich der Stabilisierung. Sie stellt die primäre Fahraufgabe mit dem kürzesten Prädiktionshorizont dar. Die sekundäre Fahraufgabe beschreibt sämtliche Aufgaben, die zur Fahraufgabe beitragen, jedoch nicht die Regelung zur Kurseinhaltung beinhalten. Als Beispiel seien hier das Betätigen des Fahrtrichtungsanzeigers oder der Fahrzeugbeleuchtung genannt.

Tertiäre Aufgaben fallen nicht in den Bereich der Fahraufgaben und umfassen somit alle sonstigen am Fahrzeug angebrachten Funktionen - auch Komfortfunktionen genannt, wie die Bedienung einer Heizung oder eines Audiosystems.

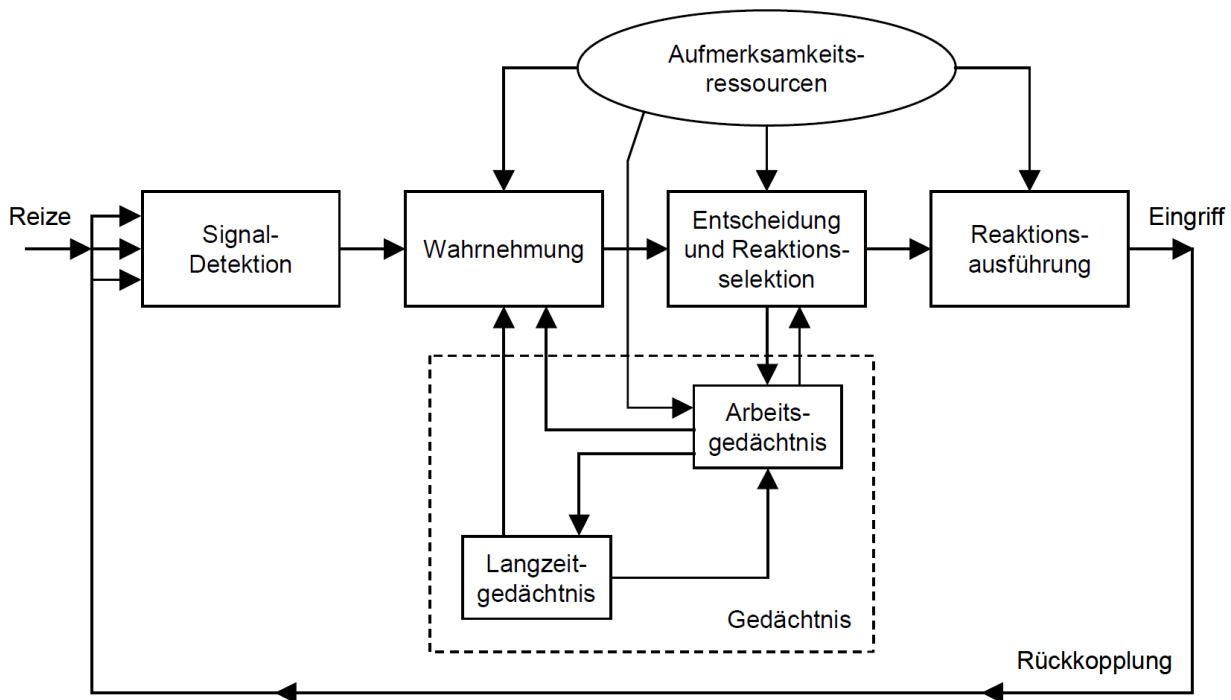
<sup>6</sup>Geiser (1990): Mensch-Maschine-Kommunikation S. 77ff.

<sup>7</sup>Bernotat (1970): Anthropotechnik in der Fahrzeugführung

<sup>8</sup>Negele (2007): Anwendungsgerechte Konzipierung... S. 6

## 2.3 Menschliche Informationsverarbeitung

Ein häufig angewandtes Modell im Ingenieurwesen stellt das Modell zur Informationsverarbeitung nach Wickens<sup>9</sup> dar. Abbildung 2.3 zeigt, dass die menschliche Informationsverarbeitung modellhaft in vier Teilschritten beschreibbar ist. Die Verarbeitung beginnt mit dem Eintreffen des Reizes auf das Sinnesorgan (Signaldetektion), beispielsweise das Auftreffen einer Schallwelle auf das Trommelfell.



**Abbildung 2.3:** Vierstufiges Informationsverarbeitungsmodell nach Wickens<sup>9</sup>

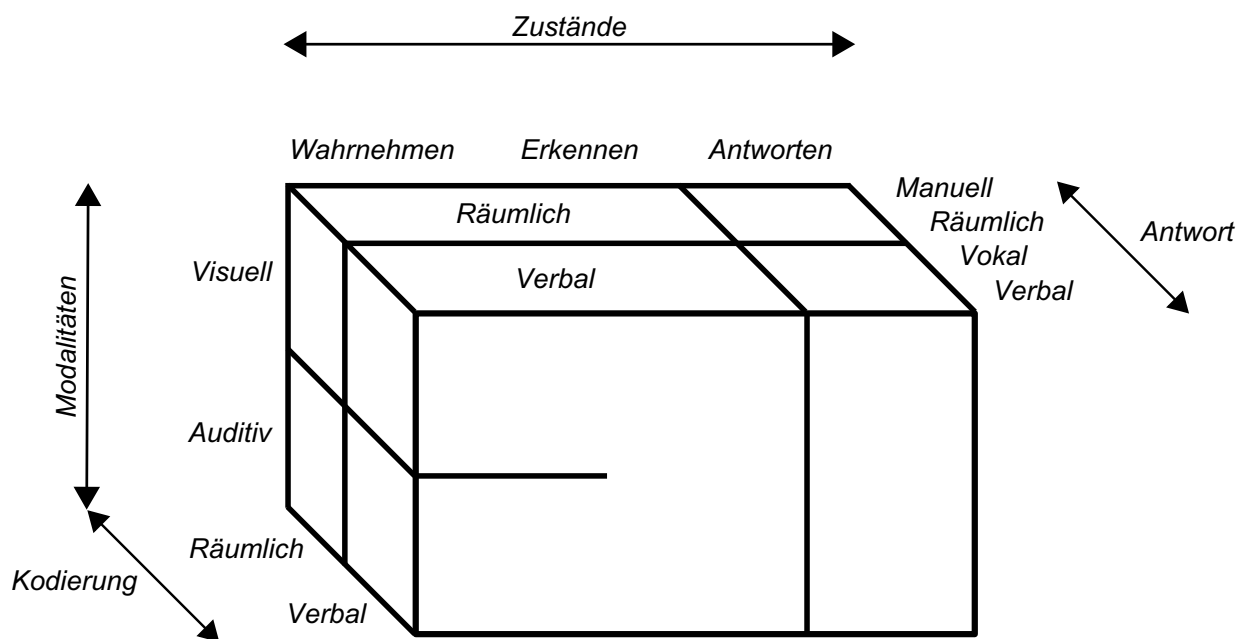
Durch das Nutzen von Aufmerksamkeitsressourcen erfolgt eine Weiterverarbeitung des detektierten Reizes (Wahrnehmung). Hierbei geschieht die geistige Durchdringung der Rohinformationen wie einer Muster- oder Objekterkennung etc. Für diesen Verarbeitungsprozess werden neben Aufmerksamkeitsressourcen Informationen aus dem Gedächtnis benötigt, wie beispielsweise bereits gespeicherte Objektmuster zur vergleichenden Objekterkennung. Nachdem die Situation wahrgenommen ist, entscheidet der Mensch im nächsten Verarbeitungsschritt über eine Handlung. Hierzu werden Aufmerksamkeitsressourcen und Informationen aus dem Arbeitsgedächtnis abgerufen sowie dorthin abgelegt. Zuletzt erfolgt die Ausführung der gewählten Reaktion. Diese Reaktion kann ggf. zu einem neuen Reiz führen, sodass eine Rückkopplung entsteht. Als Beispiel sei das Drücken eines Knopfes genannt, der eingedrückt wird, bis ein merklicher Widerstand wahrgenommen wird (haptisches Feedback genannt), der dem Mensch anzeigt, dass der Knopf eingedrückt ist.

### 2.3.1 Parallele Signalverarbeitung

Dass ein Fahrer nicht beliebig viele Aufgaben gleichzeitig durchführen kann, bedarf keiner weiteren Erläuterung. Welche Aufgaben qualitativ parallelisiert werden können, zeigt

<sup>9</sup>Wickens (1992): Engineering Psychology... S. 349

die Abbildung 2.4 zur multidimensionalen Signalverarbeitung nach Wickens<sup>10</sup> (ursprüngliche Darstellung in englisch). Im Vergleich zum gezeigten Informationsverarbeitungsmodell (Abb. 2.3) ist die Reizverarbeitung hier auf die drei Schritte Wahrnehmen (Perception), Erkennen (Cognition) und Antworten (Responding) reduziert. Zur Darstellung der Reizaufnahme über unterschiedliche Sinneskanäle sind der visuelle und der auditive Sinneskanal dargestellt (linke Fläche des abgebildeten Quaders). Die Dimension der Kodierung gibt an, ob die Information räumlicher oder verbaler Natur ist und ist in der Zeichnung durch den hinteren bzw. vorderen Teil des Quaders dargestellt. Ein eintreffender Reiz ist mittels der Dimensionen der Modalität sowie der Kodierung zuordbar und durchläuft die Verarbeitungsschritte bis zum Bereich der Antwort. Auch die Art der Antwort wird unterschieden zwischen räumlich und verbal.



**Abbildung 2.4:** Multidimensionale Signalverarbeitung nach einer Abbildung von Wickens<sup>10</sup>

Je weiter Reize in den Eingangsdimensionen auseinander liegen, desto weniger geistige Ressourcen benötigt die gleichzeitige Verarbeitung. Zusätzlich sollten sich die Reize während der Verarbeitung nicht annähern, z.B. durch Nutzung des gleichen Ausgabekanals. Die bildliche Trennung der Modalitäten, Kodierungen, Zustände und Antworten mittels durchgezogener Linien innerhalb des Quaders, zeigt an, wo diese Freiheitsgrade sich keine Ressourcen teilen. Während die auditive und visuelle Modalität beispielsweise im Bereich Wahrnehmen bildlich getrennt ist, da sie sich dort keine Ressourcen teilen, ist dies für den Zustand der Erkennung nicht der Fall. Dort greifen beide Modalitäten auf dieselbe Ressource zu.

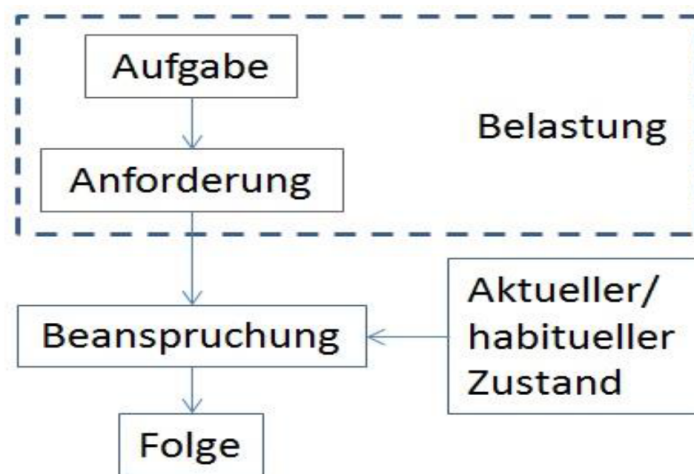
### 2.3.2 Belastung und Beanspruchung

Die Auswirkungen von Aufgaben auf den Menschen und im speziellen, die Auswirkungen des Führens eines Fahrzeugs auf den Fahrer, ist in der Literatur modellhaft beschrieben.

<sup>10</sup>Wickens/Hollands (1984): Engineering psychology... S. 439

Zum einen wird im Folgenden das Konzept *Workload* beschrieben, zum anderen das Konzept *Belastungs-Beanspruchungs-Modell*.

Eine Gegenüberstellung der beiden Konzepte ist beispielsweise in einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen<sup>11</sup> zu finden. Hier sollen kompakt die grundsätzlichen Merkmale erklärt werden. Das Belastungs-Beanspruchungs-Modell<sup>13</sup> zeigt, wie sich eine Aufgabe auf den Fahrer auswirkt. Die Aufgabe und die sich daraus ergebende Anforderung an den Fahrer wird, wie in Abbildung 2.5 dargestellt, als Belastung bezeichnet. Nach der europäischen Norm EN ISO 100751<sup>12</sup> zählen neben der Anforderung der Aufgabe alle äußeren Einflüsse auf den Fahrer ebenfalls zu den Belastungen. Somit stellt die Belastung eine von außen objektiv messbare Summe von Einwirkungen auf den Fahrer dar.



**Abbildung 2.5:** Das Belastungs-Beanspruchungs-Modell<sup>13</sup>

Zur Abarbeitung der gestellten (Fahr-)Aufgabe unter gegebenen äußeren Grundbedingungen nutzt der Fahrer persönliche Talente, Fähigkeiten und Strategien. Abhängig von seinem aktuellen Zustand wie Müdigkeit etc. fällt es dem Fahrer leichter oder schwerer, die Aufgabe zu bewältigen. Diese aus den individuellen Fähigkeiten resultierende persönliche Anstrengung des Fahrers nennt sich Beanspruchung<sup>12</sup>.

Eine Konsequenz dieser Beanspruchung kann beispielsweise eine Änderung der Arbeitsleistung darstellen. Diese Änderungen nennen sich (Beanspruchungs-)Folgen und werden in Kapitel 2.3.4 tiefer erörtert.

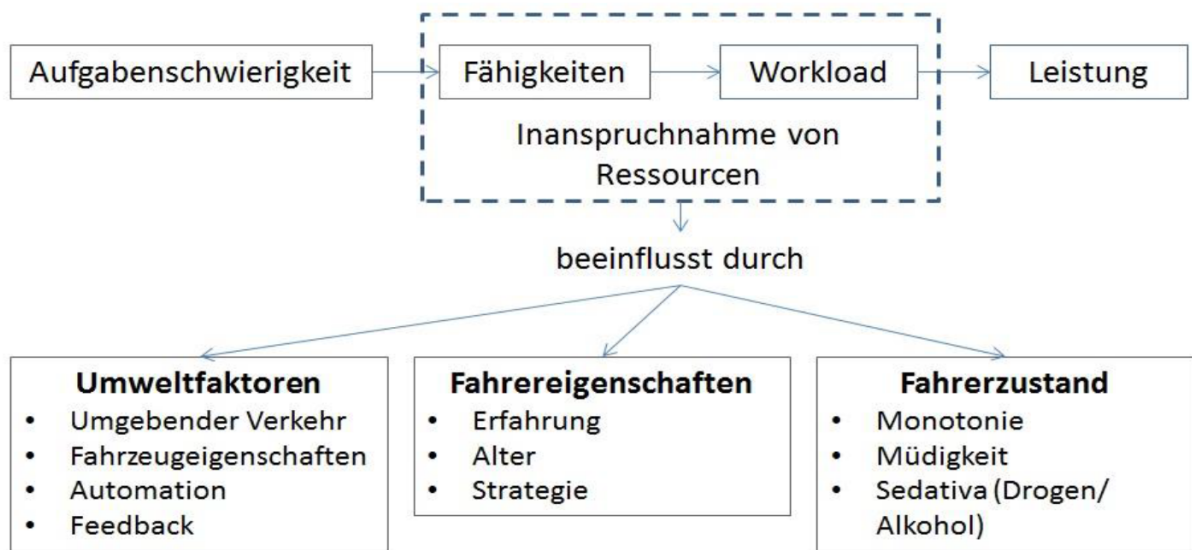
### 2.3.3 Workload

Das Konzept *Workload* konzentriert sich auf die Auswirkungen von Aufgaben auf die Leistung, wie in Abbildung 2.6 dargestellt ist. Eine gestellte Aufgabe verarbeitet der Mensch mit seinen persönlichen Fähigkeiten. Abhängig von seinem aktuellen Zustand sowie äußeren Einflüssen, führt dies zu einem individuellen Workload. Abhängig von diesem Workload ist der Mensch im Stande eine bestimmte Leistung zu erbringen.

<sup>11</sup>Buld et al. (2014): Entwicklung eines Verfahrens... S. 26.

<sup>12</sup>EN ISO 10075-1 (2000): Ergonomische Grundlagen...

<sup>13</sup>Rohmert/Rutenfranz (1975): Arbeitswissenschaftliche Beurteilung... S. 8ff; Hacker (1986): Arbeitspsychologie



**Abbildung 2.6:** Modell Workload: Zusammenhang zwischen Aufgabenschwierigkeit und Leistung nach O'Donnell und Eggemeier<sup>14</sup>(Abb. aus<sup>15</sup>)

Wie bereits anhand der beiden Beschreibungen der Modelle zu erkennen ist, besteht der Hauptunterschied in einer Verlagerung der äußeren und personenbezogenen Einflüsse aus dem Bereich der Anforderung des Belastungs-Beanspruchungsmodells in einen Bereich, der im Workload-Modell unterteilt ist in Umweltfaktoren, Fahrereigenschaften und Fahrerzustand. Resultat aus sämtlichen objektiven und subjektiven Einflüssen ist in beiden Fällen eine bestimmte Größe: Beanspruchung oder auch Workload. Deshalb werden diese Begriffe im weiteren Verlauf synonym verwendet. Ein weiterer Unterschied liegt darin, dass das Workload-Modell ausschließlich die Leistung anhand des Workloads bewertet. Weitere Effekte wie beispielsweise physiologische Reaktionen auf einen veränderlichen Workload werden nicht betrachtet.

### 2.3.4 Beanspruchungsbereiche: Unterforderung, Herausforderung, Überforderung

Der oben genannte Zusammenhang zwischen Workload oder Beanspruchung und Leistung wird nach de Waard<sup>16</sup> wie in Abbildung 2.7 beschrieben.

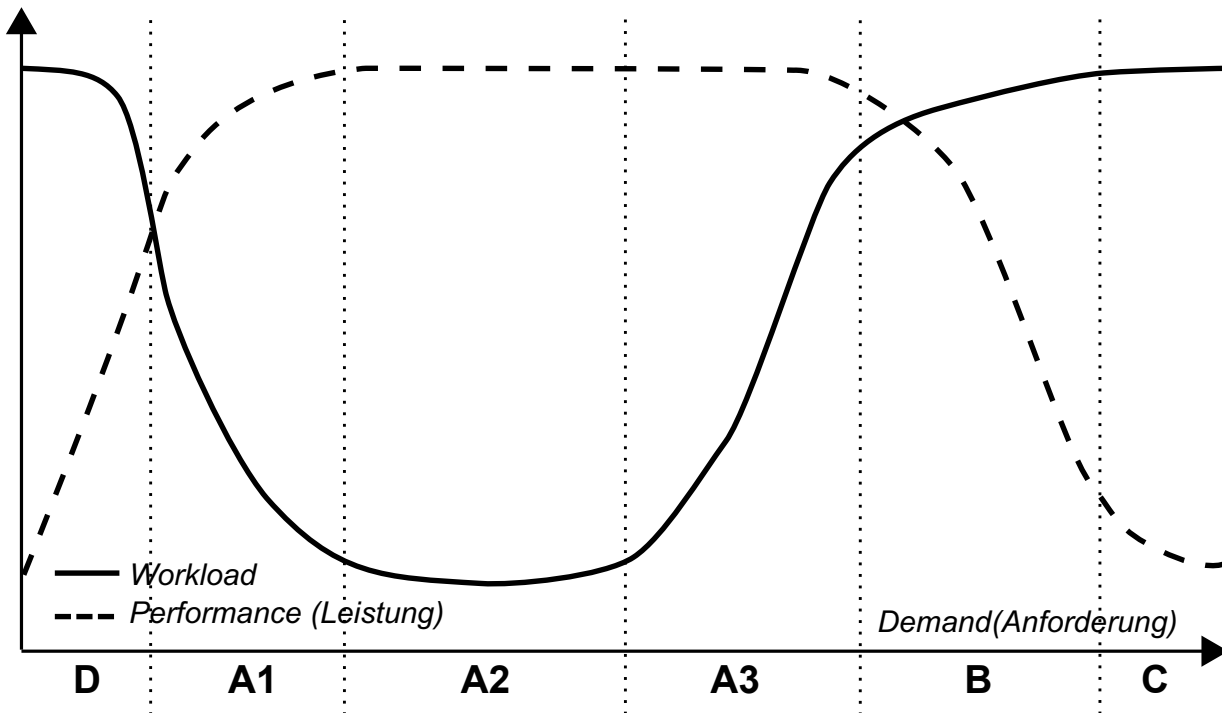
Die Abszisse stellt von links nach rechts eine steigende Anforderung der Aufgabe (Demand) dar. Über der Ordinate sind sowohl Leistung als auch Workload dargestellt. Das Diagramm lässt sich in drei Hauptregionen unterteilen:

- Unterforderung (Region D)
- Herausforderung (Regionen A1 bis A3)
- Überforderung (Regionen B und C)

<sup>14</sup>O'Donnell/Eggemeier (1986): Workload... S. 42ff.

<sup>15</sup>Buld et al. (2014): Entwicklung eines Verfahrens... S. 28ff.

<sup>16</sup>Waard (1996): The measurement... S. 24



**Abbildung 2.7:** Zusammenhang zwischen Leistung (Performance), Beanspruchung (Workload) und Anforderung (Demand)<sup>16</sup>

Der Bereich Unterforderung beschreibt den Zustand, wenn eine Aufgabe den Menschen nicht ausreichend auslastet. Es ist zu erkennen, dass trotz minimaler Anforderung der Aufgabe, der Mensch stark beansprucht ist - der Workload befindet sich am Maximum. Dies ist dadurch zu erklären, dass der Mensch sich bei Langeweile oder Unterforderung stark konzentrieren muss, die Aufgabe weiterhin durchzuführen und beispielsweise nicht abzuschweifen zu einer neuen, selbstgewählten Aufgabe, die ihn stärker fordert.

Steigt die Anforderung (Region A), kommt der Mensch in einen Bereich, in dem er die Aufgabe ohne große Anstrengung erledigt - der Workload sinkt. Beim Motorradfahren wird dieser Zustand auch *Flow*<sup>17</sup> genannt. Effekte sind beispielsweise ein Verlust des Zeitgefühls und eine Steigerung des Glücksempfindens.

Durch eine weitere Steigerung der Anforderung kommt der Mensch an eine Grenze, ab der er die Aufgabe nicht mehr ohne Leistungseinbußen erledigen kann (Regionen B und C). Dies kann beispielsweise durch eine gesteigerte Komplexität oder durch erhöhten Zeitdruck der Fall sein. Ein Resultat ist, dass die Leistung des Menschen nicht, wie vielleicht zu erwarten wäre, stagniert, sondern absinkt. Zusätzlich kann das Aufkommen von Fehlern bei der Erledigung der Aufgabe steigen. Die Leistung sinkt mit einer weiteren Steigerung der Anforderung bis sie im Bereich C auf einem konstanten Level stagniert.

---

<sup>17</sup>Rheinberg (2000): Immer im Flow....



## 2.4 Indikatoren zur Messung der Fahrerbeanspruchung und Folgen der Beanspruchung

Aus dem Pkw-Sektor ist eine Vielzahl von Indikatoren zur Beanspruchungserfassung für unterschiedliche Belastungsarten bekannt - Übersichten und Vergleiche sind beispielsweise von Miller<sup>19</sup>, Young<sup>20</sup> oder Ranney<sup>21</sup> zu finden. Indikatoren zur Erfassung der Müdigkeit werden ausgeschlossen, da langfristige Beanspruchung nur einen Teilaspekt von Müdigkeit darstellt. Dieses Kapitel dient als Übersicht zur Eingliederung der Vielzahl vorhandener Indikatoren in Subkategorien, um sie im weiteren Verlauf strukturiert zu untersuchen.

Nach O'Donnell und Eggemeier<sup>18</sup> ist eine Aufteilung der Indikatoren in drei Ebenen möglich: Die Physiologische Ebene, die Verhaltensebene sowie die Subjektive Ebene, welche im weiteren Verlauf Berichtete Ebene genannt wird, um die Art der Erfassung dieser Ebene treffend zu beschreiben. Diese drei Ebenen lassen sich weiter gliedern, wie in Abbildung 2.8 gezeigt.

In der Übersicht sind unter anderem alle Indikatoren zu finden, die in diesen Richtlinien vorkommen:

- European Statement of Principles<sup>22</sup>
- Guidelines of the Alliance of Automotive Manufacturers<sup>23</sup>
- Guidelines of Japan Automobile Manufacturers Association<sup>24</sup>
- Guidelines of The National Highway Traffic Safety Administration<sup>25</sup>

Indikatoren aus diesen Richtlinien sind mit einem Polygon nach dem Indikatornamen versehen und werden im späteren Verlauf der Arbeit eingehender untersucht. Im Rahmen dieser Arbeit zusätzlich untersuchte Indikatoren sind mit einem Stern gekennzeichnet. Auf alle markierten Indikatoren wird im Folgenden genauer eingegangen. Zur Erklärung der restlichen Indikatoren sei auf die bereits genannten vergleichenden Werke verwiesen.

### 2.4.1 Verhaltensebene

Die Verhaltensebene beschreibt die beobachtbare Leistung des Fahrers und lässt sich in einem ersten Schritt in Indikatoren der primären und der nicht-primären Fahraufgabe unterteilen (siehe Kap. 2.2). Die primäre Fahraufgabe unterteilt sich wiederum in die Bereiche Längs- und Querführung. Beide Bereiche lassen sich weiter in die Unterbereiche Position, deren zeitliche Ableitungen Geschwindigkeit und Beschleunigung, die Fahrereingaben sowie die Zeit untergliedern.

Hier werden die folgenden Indikatoren erläutert:

---

<sup>18</sup>O'Donnell/Eggemeier (1986): Workload... S. 42ff.

<sup>19</sup>Miller (2001): Workload Measures...

<sup>20</sup>Young/Regan/Hammer (2003): Driver distraction...

<sup>21</sup>Ranney (2008): Driver Distraction...

<sup>22</sup>The Commission Of The European Communities (2006): Commission Recommendation...

<sup>23</sup>Driver Focus-Telematics Working Group (2002): Statement of Principles...

<sup>24</sup>Japan Automobile Manufacturers Association (2004): Guideline for In-vehicle Display Systems...

<sup>25</sup>Department of Transportation (2012): Visual-Manual NHTSA....

- Latenz
- Korrelationshöhe
- Standardabw. der Lateralen Position
- Anzahl Verlassen des Fahrstreifens
- Standardabweichung der Zeitlücke

## Latenz ( $\tau_{max}$ ) und Korrelationshöhe ( $R_{xcorr}^*(m_{max})$ ) zwischen zwei Geschwindigkeitsprofilen

Im Bereich Geschwindigkeit der Längsführung werden die Indikatoren Latenz und Korrelationshöhe zwischen zwei Geschwindigkeitsprofilen vorgestellt. Hierbei ist Voraussetzung, dass der Proband während eines Fahrversuchs einem Vorderfahrzeug folgt. Jedes Profil besteht aus einer Anzahl  $N$  Datenpunkten, die einen zeitlichen Abstand von  $\Delta t$  zueinander besitzen. Durch eine Kreuzkorrelation der beiden Geschwindigkeitsprofile ist sowohl eine Korrelationshöhe der Geschwindigkeitsprofile als auch ein zeitlicher Versatz der Signale, Latenz genannt, ermittelbar.

Hierzu sind in einem ersten Schritt die konstanten Signalanteile der Geschwindigkeitssignale von Proband  $v_{xEigen}(t_i)$  sowie dem Vorderfahrzeug  $v_{xFront}(t_i)$  zu entfernen, um die Signale  $v_{xEigen}^*(t_i)$  und  $v_{xFront}^*(t_i)$  zu erhalten, die jeweils den Mittelwert null besitzen.

Die Funktion der Kreuzkorrelation  $R_{xcorr}(m)$  in Abhängigkeit des Verschiebungsindex  $m$ , der im Bereich  $m = 1, \dots, N$  gilt, erhält man mittels Gleichung 2.1.

$$R_{xcorr}(m) = \sum_{i=0}^{N-1} v_{xEigen}^*(t_i) v_{xFront}^{**}(t_{i+m}) \quad (2.1)$$

mit

$$t_i = i \cdot \Delta t, \quad (2.2)$$

und

$$v_{xFront}^{**} = \begin{cases} v_{xFront}^* & \text{falls } i + m \leq N \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (2.3)$$

Im Anschluss erfolgt eine Normierung der Kreuzkorrelationsfunktion nach Gleichung 2.4.

$$R_{*xcorr}(m) = \frac{R_{xcorr}(m)}{|v_{xEigen}^*| \cdot |v_{xFront}^*|} \quad (2.4)$$

Im nächsten Schritt ist die Verschiebungsindex  $m_{max}$  zu ermitteln, an dem die Funktion ihr Maximum hat. Die zeitliche Verschiebung  $\tau$  ergibt sich aus der Multiplikation des Verschiebungsindex mit dem zeitlichen Abstand  $\Delta t$ . Somit ergibt sich die Latenz  $\tau_{max} = m_{max} \Delta t$ . Einsetzen des Index  $m_{max}$  in die normierte Kreuzkorrelationsfunktion führt zur Korrelationshöhe  $R_{xcorr}^*(m_{max})$ .

## Standardabweichung der Zeitlücke ( $SdZl$ )

Voraussetzung zur Ermittlung des Indikators ist wie beim Vorangegangenen, dass der Proband einem vorausfahrenden Fahrzeug folgt. Durch Division des Abstands  $d(t_i)$  zwischen

dem Vorderfahrzeug und dem Fahrzeug des Probanden durch die zum Zeitpunkt  $t_i$  gefahrene Geschwindigkeit  $v_{eigen}(t_i)$  des Probanden, erhält man den Wert Zeitlücke bzw. Zeitlücke  $Zl(t_i)$ , wie in Gleichung 2.5 dargestellt. Der Indikator vernachlässigt mögliche Geschwindigkeitsänderungen des vorausfahrenden Fahrzeugs.

$$Zl(t_i) = \frac{d(t_i)}{v_{eigen}(t_i)} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{Zl} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Zl(t_i) - \bar{Zl})^2}{n}} \quad (2.6)$$

Die Ermittlung der Standardabweichung des Kennwerts Zeitlücke über eine Messdauer von  $n$  Messpunkten nach Gleichung 2.6 führt zu dem Indikator Standardabweichung der Zeitlücke  $\sigma_{Zl}$  bzw. SdZl, wobei  $\bar{Zl}$  das arithmetische Mittel des Signals  $Zl(t_i)$  darstellt.

### Standardabweichung der Lateralen Position (*SDLP*)

Ein möglicher Indikator zur Beurteilung der Querführungsqualität stellt die Standardabweichung der Lateralen Position (engl. Standard Deviation of Lane Position, kurz SDLP) dar. Dieser Indikator berechnet sich nach Formel 2.7, wobei  $n$  die Anzahl der Messwerte darstellt,  $y_i$  die laterale Position des geometrischen Fahrzeugmittelpunkts relativ zur Mitte des gewählten Fahrstreifens und  $\bar{y}$  den arithmetischen Mittelwert der lateralen Position.

$$SDLP = \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}} \quad (2.7)$$

### Anzahl Verlassen des Fahrstreifens ( $n_{Verlassen}$ )

Diese Größe stellt neben dem SDLP eine weitere Größe aus dem Bereich Querführungsqualität dar und gibt an, wie oft der Proband den eigenen Fahrstreifen während einer Messfahrt verlassen hat. Hierbei ist Voraussetzung, dass der Proband angewiesen wird, während der Messung nicht zu überholen und den Fahrstreifen nicht anderweitig zu verlassen. Der Indikator  $n_{Verlassen}$  wird um eins inkrementiert, wenn mindestens ein Rad die linke oder rechte Fahrbahnmarkierung vollständig überquert hat.

### Reaktionszeit bis Auslösung ( $t_{Reaktion}$ )

Bei der Bewertung von diversen nicht-primären Aufgaben stellt die Reaktionszeit des Probanden  $t_{Reaktion}$  auf einen Reiz einen Indikator für Beanspruchung dar. Als Beispiel sei der Detection Response Task<sup>26</sup> genannt, bei dem der Proband angehalten ist, auf einen Stimulus (meist optisch) mittels manueller Bestätigung, z.B. durch Drücken eines Knopfes, zu reagieren.

<sup>26</sup>Miura (1986): Coping with situation demands...

## Anzahl Eingabefehler ( $n_{Fehler}$ )

Wie in Kapitel 2.3.4 erwähnt, steigt mit dem Erreichen der Grenze zur Überforderung durch eine Aufgabe meist die Anzahl der begangenen Fehler. Somit stellt die Anzahl der Fehler  $n_{Fehler}$  während einer Messfahrt einen weiteren Indikator dar.

### 2.4.2 Berichtete Ebene

Zur Messung von Indikatoren in der berichteten Ebene wird die persönliche Selbsteinschätzung des Probanden erfasst. Dies geschieht meist mittels standardisierter Fragebögen. Die Fragebögen sind hier unterteilt nach der Dimension ihres Ergebnisses. Während manche Fragebögen einen Gesamtfaktor für die Beanspruchung ermitteln (eindimensionale Skala), untergliedern andere Fragebögen die Beanspruchung in mehrere Dimensionen (mehrdimensionale Skala). Vergleiche dieser Fragebögen sind beispielsweise in Hill<sup>27</sup> oder Rubio<sup>28</sup> zu finden.

## Rider Activity Load Index (*RALI*)

Hervorgehoben sei hier der mehrdimensionale Fragebogen *Rider Activity Load Index* - kurz RALI von Pauzié<sup>29</sup>, welcher auf dem im Pkw-Sektor verbreiteten *Driver Activity Load Index* aufbaut und für den Anwendungsbereich PTW optimiert wurde. Er misst die Beanspruchung durch eine Nebenaufgabe bei gleichzeitiger Durchführung der Fahraufgabe.

Wie in Tabelle 2.1 zu sehen ist, umfasst der Fragebogen die visuellen, auditiven sowie zeitlichen Anforderungen der zu beurteilenden Aktivität, die Interferenz der Nebenaufgabe mit der Fahraufgabe, die benötigte Aufmerksamkeit für die Nebenaufgabe, die Anstrengung durch die Verkehrssituation, situativen Stress sowie auftretende negative Emotionen während der Fahrzeugführung. Diese acht Dimensionen werden auf einer diskreten Skala ganzer Zahlen von null (=sehr niedrig) bis 5 (=sehr hoch) bewertet.

Nr.	Dimensionen
1	Visuelle Anforderung
2	Auditive Anforderung
3	Zeitliche Anforderung
4	Systeminterferenz
5	Benötigte Aufmerksamkeit
6	Beanspruchung durch Verkehrssituation
7	Situationsbedingter Stress
8	Negative Emotionen

**Tabelle 2.1:** Fragen sowie Beschreibungen des Rider Activity Load Index-Fragebogens<sup>29</sup>

<sup>27</sup>Hill et al. (1992): Comparison of Four....

<sup>28</sup>Rubio et al. (2003): Evaluation of....

<sup>29</sup>Pauzié/Gelau/Aupetit (2009): Safety evaluation... S. 16ff.

### 2.4.3 Physiologische Ebene

Für die Indikatoren im Bereich der physiologische Ebene wurde eine Unterteilung nach den Organen vorgenommen, die für die Messung der Indikatoren beobachtet werden. Die Messung verschiedener Hormonpegel grenzt sich insofern von den restlichen Indikatoren ab, dass diese meist nicht kontinuierlich, sondern einmalig nach einer vorhandenen Beanspruchung erfasst werden. Ein Grund dafür ist die aufwändige Erfassung der Pegel über Urin- oder Blutproben.

Da die Erfassung der Blickdaten (Eye-Tracking oder auch Gaze-Tracking genannt) einen Teil dieser Arbeit darstellt, wird auf diese Indikatoren zum besseren Verständnis der Arbeit genauer eingegangen. Aus dem Bereich des Gaze-Tracking ist eine Vielzahl erhebbarer Kennwerte bekannt. Die Erfassung von Blickdaten beim Führen eines PTW stellt eine besondere Herausforderung dar. Während im Pkw-Sektor sowohl kopfgetragene Systeme (Head-Mounted Eye-Tracker) als auch fahrzeug- bzw. Mock-up-feste Systeme eingesetzt werden, kann keines dieser für den PTW-Sektor ohne Modifikation genutzt werden, solange der Proband/Fahrer einen Helm trägt. Bei kopfgetragenen Systemen besteht die Gefahr, sofern sie überhaupt unter einem Helm getragen werden können, dass Helmbewegungen das System verschieben und so die Kalibrierung verloren geht, sodass die Messdaten ggf. unbrauchbar werden. Remote-Systeme benötigen eine Vielzahl gekoppelter Kameras, um die Sicht auf die Augen uneingeschränkt zu ermöglichen, da der Helm den Erfassungsbereich zum Auge stark einschränkt. Eine Lösung, welche für diese Arbeit ausgearbeitet wurde, ist ausführlich von Buschle<sup>30</sup> im Rahmen einer Abschlussarbeit dokumentiert. Das Ergebnis ist in Abbildung 2.9 zu sehen.



**Abbildung 2.9:** Eye-Tracking System, das unter einem Helm getragen werden kann<sup>30</sup>

Das System lässt Relativbewegungen zwischen Helm und Tracking-System zu, während

<sup>30</sup>Buschle (2014b): Konstruktion des Grundgestells...

Tracking-System und Kopf durch ein eng anliegendes Brillengestell inklusive Gummizug fest verbunden sind.

### Eye-Off-Road-Time ( $EORT$ ) und Attention-Ratio ( $P_{AOI}$ )

Das menschliche Auge besitzt nur in einem Bereich von  $0,016^\circ$  horizontalem und vertikalem Öffnungswinkel 100 % Sehschärfe (Netzhautbereich Fovea centralis)<sup>31</sup>. Hierdurch lässt sich über eine Vektorerstellung von diesem auch gelben Fleck genannten scharfen Sehbereich durch die Linse des Auges zurückschließen, wo der Fokuspunkt (umgangssprachlich Blickpunkt genannt) des Probanden hinfällt. Der Indikator Eye-Off-Road-Time (kurz: EORT) gibt an, wie lange der Fokuspunkt nicht auf den für die Fahraufgabe relevanten Verkehr gerichtet ist. Zur Berechnung dieses Indikators wird der Sichtbereich des Fahrers, wie in Abbildung 2.10 zu sehen, in verschiedene Segmente aufgeteilt - sogenannte Areas of Interest, kurz AOI.



**Abbildung 2.10:** Darstellung von Areas of Interest zur Auswertung des Blickverhaltens

Diese können sich beispielsweise in Fahrzeuganzeige (AOI ABk), Spiegel (AOI Spiegel links und rechts) und den Verkehr (AOI Verkehr) zusammensetzen. Die Dauer jedes Blicks  $\Delta t_{AOI,x}$ , der sich innerhalb einer AOI (hier stellvertretend für alle AOI mit  $x$  bezeichnet) befindet, wird zur Beobachtungsdauer dieser AOI aufsummiert. Die summierte Blickdauer, in der der Proband nicht den Verkehr beobachtet (EORT), lässt sich somit durch Subtraktion der Summation aller Blicke auf die AOI-Verkehr  $\Delta t_{AOI,Verkehr}$  berechnen, siehe Gleichung 2.8. Es ist zu beachten, dass so genannte *Fly-Throws* gelöscht werden sollten: Wandert ein Blick von einem Punkt A zu einem Punkt B durch eine AOI ohne dabei auf dieser AOI zu verweilen, sollte dieses kurzweilige Durchlaufen der AOI nicht in die Berechnung der EORT einbezogen werden.

<sup>31</sup>Neumann et al. (2015): Sehstörungen nach....

<sup>32</sup>Verweildauern von maximal 100 ms werden als Fly-Threw angesehen

Anhand der Definition des Indikators EORT wird klar, dass der Indikator mit zunehmender Messdauer ansteigt, solange regelmäßig Fokuspunkte nicht auf den Verkehr gerichtet sind. Um diese Zeitabhängigkeit zu eliminieren, wird die relative Häufigkeit der Blicke auf eine AOI als zweiter Indikator vorgestellt. Hierbei wird die summierte Blickdauer auf eine AOI durch die Gesamtdauer der Messung geteilt, wie in Gleichung 2.9 beschrieben.

$$EORT = t_{Ges} - \sum \Delta t_{AOI,Verkehr} \quad (2.8)$$

$$P_{AOI,n} = \frac{\sum \Delta t_{GazeAOI,x}}{t_{Ges}} \quad (2.9)$$

Berechnet man die relative Häufigkeit der Blicke auf die AOI, die den Verkehr umgibt  $AOI_{Verkehr}$ , zieht, wie in Gleichung 2.8, diese Häufigkeit von eins ab und multipliziert das Ergebnis mit der Gesamtmessdauer, erhält man erneut die Eye-Off-Road-Time.

$$EORT = (1 - P_{AOI,Verkehr})t_{Ges} \quad (2.10)$$

### Mean-Glance-Duration (*MGD*)

Der Indikator Mean-Glance-Duration (*MGD*) gibt an, wie lang ein Blick im arithmetischen Mittel während einer Messung auf einer AOI verweilt. Hierzu summiert man die Blickdauern auf eine AOI  $\Delta t_{AOI,x}$  auf und dividiert sie durch die Anzahl Blicke  $k_{AOI,x}$  auf diese AOI, wie in Gleichung 2.11 beschrieben.

$$MGD = \frac{\sum \Delta t_{AOI,x}}{k_{AOI,x}} \quad (2.11)$$

### Blicklängenverhältnis (*BLV*)

Das Blicklängenverhältnis Indikator (*BLV*) beschreibt, das Verhältnis aus der Anzahl Blicke  $m$  mit einer Dauer von einer maximalen Länge von  $\Delta t_{max} = 2$  zur Anzahl aller auf eine AOI gefallen Blicke, siehe auch Gleichung 2.12.

$$BLV = \frac{m_{AOI,x,gr2}}{k_{AOI,x}} \text{ mit } \Delta t_{AOI,x,1} \dots \Delta t_{AOI,x,m} := \{\Delta t_{AOI,x} : \Delta t_{AOI,x} > 2\text{s}\} \quad (2.12)$$

### Mittlere Pupillenfläche (*MPF*), Gesamte Flächenänderung (*GFP*), Aufgabenbedingte Flächenänderung (*AFP*)

Für den Indikator Mittlere Pupillenfläche wird der Effekt ausgenutzt, dass neben der einfallenden Lichtintensität in das Auge eine steigende Beanspruchung die Pupillenfläche vergrößert<sup>33</sup>. Bei konstanten Lichtverhältnissen lässt sich so auf die Beanspruchung rückschließen. Bei der Messung dieses Wertes ist zu beachten, dass ein unterschiedlicher Abstand der Kameras zum Auge bei head-mounted Tracking-Systemen die gemessene Pupillenfläche beeinträchtigt. Bei Remote-Systemen ist eine Veränderung des Abstandes zur Kamera z.B. durch Kopfbewegungen auszugleichen. Zusätzlich ist zu beachten, dass zwischen den

<sup>33</sup>Kahneman (1973): Attention and effort.

Probanden individuelle Unterschiede in der Pupillenfläche sowie der Größe der Flächenänderung bestehen, sodass ein direkter Vergleich nicht sinnvoll erscheint. Außerdem besteht eine Abhängigkeit der gemessenen Pupillenfläche von der Orientierung des Auges zur Kamera, da die Pupillenfläche eine Projektion einer im dreidimensionalen Raum bewegten Fläche auf die zweidimensionale Kameramatrix darstellt. Ein Fokuspunkt, der weit weg gerichtet ist, führt so bei gleicher Pupillenfläche zu einer kleineren gemessenen projizierten Fläche als bei einem Fokuspunkt, der direkt auf der Kamera liegt.

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt deshalb die Definition von zwei Kennwerten, die diesen individuellen Unterschieden sowie technischen Einschränkungen Rechnung tragen. Der erste Indikator wird Gesamte Flächenänderung (der Pupille) - kurz GFP - genannt. Zur Bestimmung wird der Proband vor dem Start der Messfahrt während der laufenden Simulation angehalten, den Horizont der virtuellen Welt zu fixieren. Hierdurch passt sich die Pupillenfläche  $a$  den Lichtverhältnissen der Fahrsimulation an. Im Stillstand ist keine Belastung durch die Fahr- oder Nebenaufgabe vorhanden. Der Median der gemessenen Pupillenflächen während des Stillstands  $\tilde{a}_{kal.}$  wird nun vom berechneten Median der Pupillenfläche während der Messfahrt  $\tilde{a}_{Beanspr}$  subtrahiert, wie in Gleichung 2.13 dargestellt.

$$GFP = \tilde{a}_{Beanspr} - \tilde{a}_{kal.} \quad (2.13)$$

Der zweite Indikator ist im weiteren Verlauf mit Aufgabenbedingter Flächenänderung (der Pupille) - kurz AFP - bezeichnet. Zur Berechnung ist neben der Messfahrt, in der die Beanspruchung einer Nebenaufgabe zu bestimmen ist, eine so genannte Baseline-Fahrt durchzuführen, in der der Fahrer ausschließlich der Fahraufgabe nachkommt. Durch Bestimmung des Medians der Pupillenfläche während der Baseline-Fahrt  $\tilde{a}_{Baseline}$  und Subtrahieren dieses Wertes vom Median der Pupillenfläche während der Messfahrt  $\tilde{a}_{Beanspr}$  erhält man, wie in Gleichung 2.14 beschrieben, den Indikator AFP.

$$AFP = \tilde{a}_{Beanspr} - \tilde{a}_{Baseline} \quad (2.14)$$

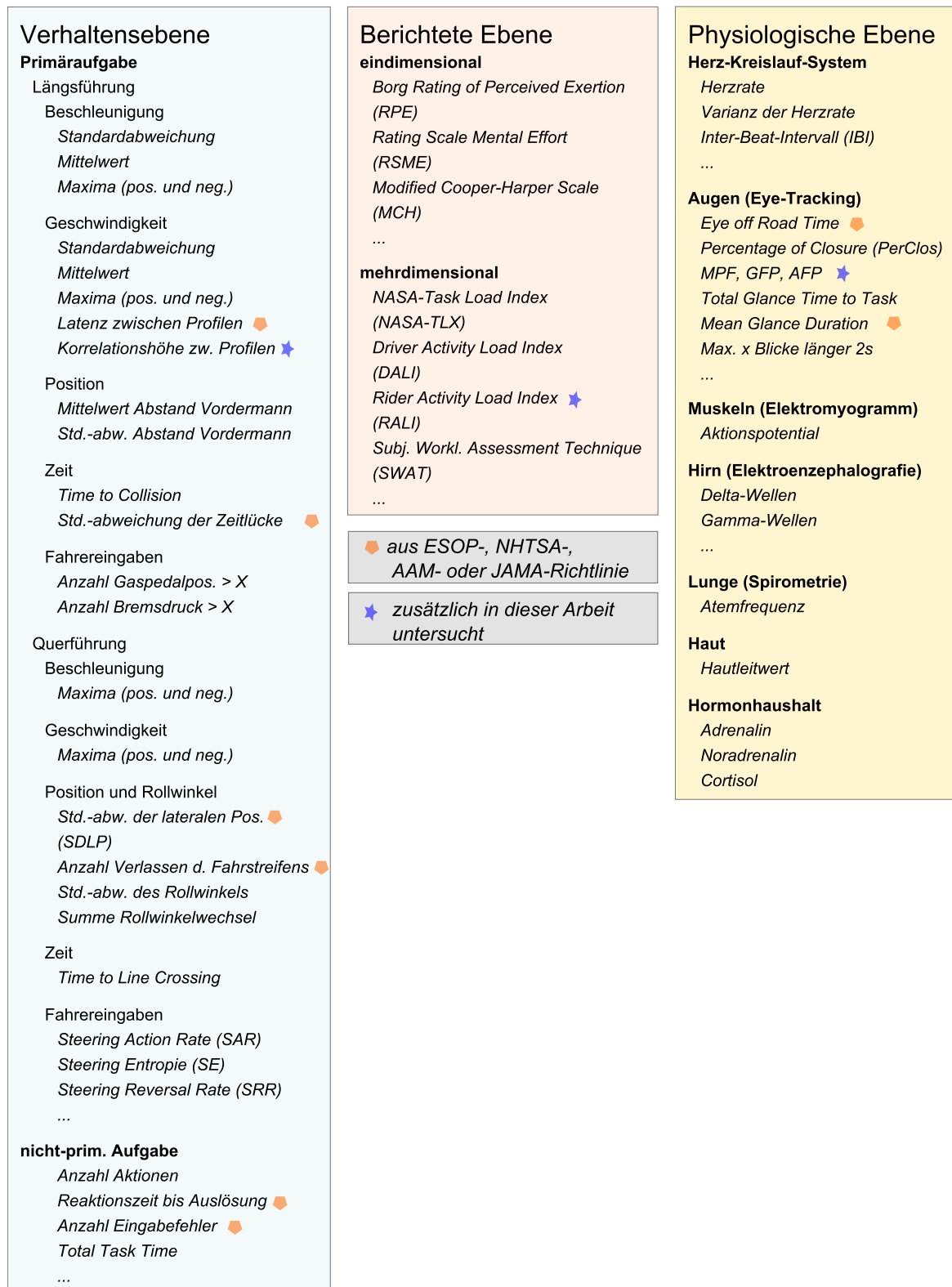
Bei der Berechnung der Mediane ist der genannte Sachverhalt zu beachten, dass sich die Pupillenfläche abhängig vom fokussierten Bereich ändern kann, wenn dort im Vergleich zum vorigen Fokuspunkt eine andere Lichtintensität vorliegt. Deshalb sollte der Median jeweils nur über Flächen berechnet werden, die im Bereich gleicher Lichtintensität liegen.

---

<sup>34</sup>Individuelle Unterschiede in der Grundbeanspruchung wie beispielsweise durch selbst auferlegten Erwartungsdruck o.ä. bleiben hierbei unberücksichtigt



## Indikatoren



**Abbildung 2.8:** Eine beispielhafte Übersicht über Indikatoren zur Messung von Fahrerbeanspruchung strukturiert nach Verhaltensebene, Berichtete Ebene und Physiologische Ebene, welche im Rahmen dieser Arbeit recherchiert wurde<sup>19,20,21</sup>

---

## 3 Fahrsicherheit bezogen auf Anzeige- und Bedienkonzepte

### 3.1 Definition von Fahrsicherheit

Um eine Methode entwickeln zu können, die den möglichen negativen Einfluss eines ABk auf die Fahrsicherheit feststellt, wird in einem ersten Schritt erarbeitet, was Fahrsicherheit in diesem Bereich umfasst.

Fahrzeugtechnikorientierte Literatur beschreibt und bewertet Fahrsicherheit meist durch längs- und querdynamische Beherrschbarkeit der zu führenden Fahrzeugs<sup>1,2</sup>. Bubb<sup>3</sup> beschreibt beispielsweise den „[...] guten und gleichmäßigen Kontakt der Räder zur Fahrbahn [...]“ als eine Voraussetzung für Fahrsicherheit. Neben fahrzeugspezifischen Größen zeigen beispielsweise<sup>4,5</sup>, dass auch der Fahrer und dessen Eingaben zur Erfassung der Fahrstabilität einen relevanten Beitrag leisten.

In dem Buch von Madea „Verkehrsmedizin. Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion.“<sup>6</sup> wird Fahrsicherheit wie folgt beschrieben:

„Fahrsicherheit bezeichnet die situations- und zeitbezogene Fähigkeit zum Führen eines Fahrzeugs. Sie ist durch äußere Faktoren sowie durch Beeinträchtigungen des Fahrers rasch veränderbar (im Gegensatz zur Fahreignung).

Die Begriffe Fahrsicherheit und Fahrtüchtigkeit werden synonym gebraucht.“

Während sich das obige Zitat auf den Fahrzeugführenden sowie die äußeren Einflüsse bezieht, bezeichnet der Duden die Sicherheit des **Fahrzeugs** als Fahrsicherheit<sup>7</sup>:

„Sicherheit, die ein Fahrzeug beim Fahren bietet“

BMW Motorrad zählt mit dem Konzept *Sicherheit 360°* Fahrerausstattung, Fahrerqualifikation als auch Fahrzeug (Technologie) zur Fahrsicherheit, siehe Abbildung 3.1.

Bezieht man das Modell zur Fahrzeugführung (siehe Kapitel 4.2) auf die Fahrsicherheit, so benötigt man zu einer umfassenden Definition die Themenfelder Fahrzeug, Fahrer und Umwelt. Abbildung 3.2 kombiniert die oben genannten Definitionen von Fahrsicherheit miteinander. Die im Duden genannte Definition ist als Teilaspekt von Fahrsicherheit im

---

<sup>1</sup>Zomotor/Reimpell (1991): Fahrwerktechnik: Fahrverhalten S. 12ff.

<sup>2</sup>Department of Transportation (2007): Electronic Stability Control... Kapitel II-1ff.

<sup>3</sup>Bubb et al. (2015): Automobilergonomie S. 494.

<sup>4</sup>Enke (1966): Überlegungen zum Zusammenwirken... S. 37ff.

<sup>5</sup>Fiala/Wallner (1968): Untersuchung des Systems Fahrzeug-Fahrer....

<sup>6</sup>Berghaus/Madea/Mußhoff (2007): Verkehrsmedizin: Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion S. 124.

<sup>7</sup>Bibliographisches Institut GmbH (2015): duden.de.

<sup>8</sup>BMW Motorrad (2015): Sicherheit braucht Taten...



**Abbildung 3.1:** Strategie Sicherheit 360° von BMW Motorrad<sup>8</sup>

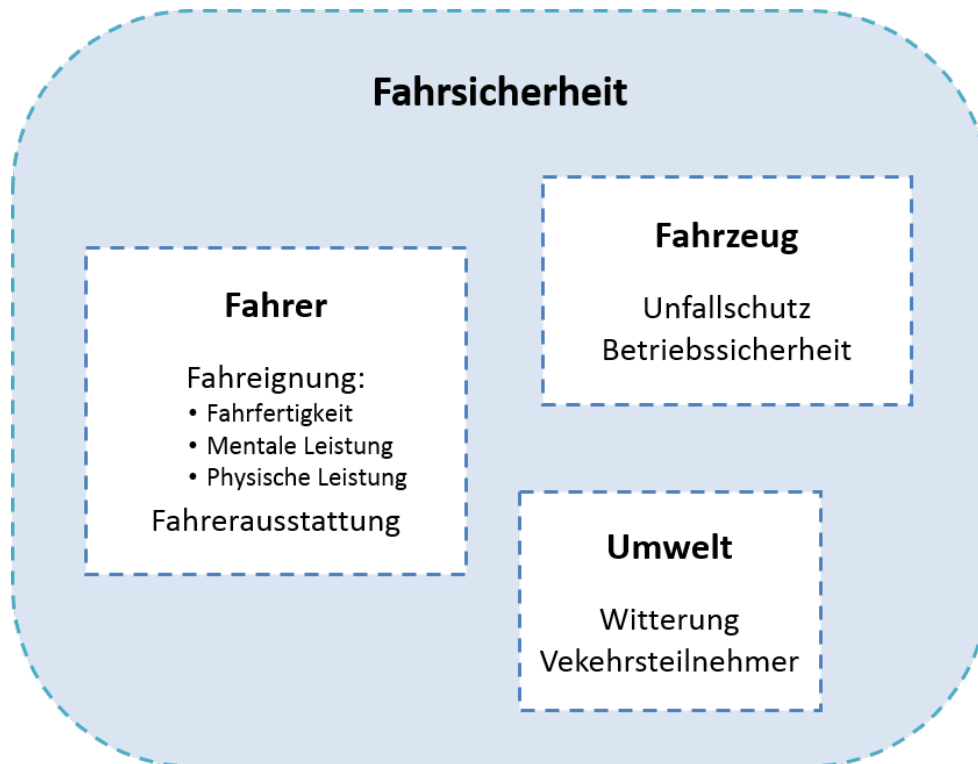
Bereich Fahrzeug wieder zu finden mit Unterrubriken wie Unfallschutz durch aktive und passive Sicherheit oder die Sicherstellung der Betriebsbereitschaft des Fahrzeugs. Als weiterer Teilaspekt werden die Einflüsse aus der Umwelt als Subkategorien abgebildet. Witterungsbedingungen wie beispielsweise eine Fahrbahn mit vermindertem Reibwert (ugs. glatte Fahrbahn) oder gefährdendes Verhalten von Verkehrsteilnehmern kann negativen Einfluss auf die Fahrsicherheit besitzen.

Da in dieser Arbeit der Fokus auf dem Thema Anzeige- und Bedienkonzepte liegt, steht das Zusammenspiel von Fahrer und Fahrzeug im Vordergrund dieser Untersuchungen. Um die Komplexität zu beschränken, werden deshalb die Einflüsse aus dem Bereich der Umwelt konstant gehalten und nicht tiefer gehend untersucht. Im Bereich Fahrer ist vor allem die Subkategorie Fahreignung relevant. Als Fahreignung wird die Fähigkeit verstanden, situationsunabhängig und zu jeder Zeit das Fahrzeug sicher zu führen<sup>9</sup>. Zur Fahreignung zählt die Fahrfertigkeit oder Fahrerqualifikation, welche die Geschicklichkeit mit dem Fahrzeug beschreibt, wie sie beispielsweise während der Fahrausbildung vermittelt werden soll und welche durch Fahrerfahrung gesteigert wird. Neben der Fahrfertigkeit zählen die physische und mentale Leistungsfähigkeit des Fahrers zur Fahreignung.

Aus Kapitel 2.1 ist zu erkennen, dass aktuelle ABk zumeist visuelle sowie akustische Informationen an den Fahrer abgeben und eine manuelle Eingabe erfordern. Im Rahmen dieser Arbeit wird die manuelle Eingabe der Informationen nicht variiert, sodass der Fokus auf der Informationsaufnahme liegt. Man kann somit im Folgenden ausschließlich von der Prüfung unterschiedlicher Anzeige-Konzepte sprechen. Da eine Bedienung jedoch weiterhin notwendig ist, wird der Begriff Anzeige- und Bedienkonzept beibehalten. Entsprechend lässt sich eine Definition von Fahrsicherheit für den weiteren Gebrauch wie folgt formulieren:

*Die Fahrsicherheit bei der Nutzung eines ABk ist nicht durch dieses beeinträchtigt, wenn ein Fahrer nur so viele visuelle Informationen bereitgestellt bekommt, dass er auf kritische Situationen zu jeder Zeit adäquat reagieren kann.*

<sup>9</sup>Hansen (2006): Beweiswert rechtsmedizinischer... S. 12.



**Abbildung 3.2:** Unterteilung des Themenfeldes Fahrsicherheit in Fahrer, Fahrzeug und Umwelt

Da diese Definition der Fahrsicherheit nicht direkt messbar und quantisierbar ist, sind weitere Untersuchungen notwendig: Auf Grundlage dieser Definition erfolgt im nächsten Kapitel eine Analyse möglicher Auswirkungen von Anzeige- und Bedienkonzepten auf die Fahrsicherheit. Sind alle Auswirkungen erfasst und ein Konzept zur Beobachtung derselben gefunden, kann die Fahrsicherheit geprüft werden.

## 3.2 Einflussanalyse von Anzeige- und Bedienkonzepten auf die Fahrsicherheit

Nachdem in Kapitel 3.1 das Verständnis von Fahrsicherheit für den Rahmen dieser Arbeit definiert ist, erfolgt im weiteren Verlauf eine Analyse, welchen Einfluss ein Anzeige- und Bedienkonzept auf die Fahrsicherheit eines PTW-Fahrers haben könnte. Die Schnittstelle zwischen Fahrer und Fahrzeug lässt sich in Anzeige- und Bedienelemente für primäre, sekundäre und tertiäre Aufgaben einteilen, siehe Kap. 2.2.

Da aktuell vor allem im Bereich tertiärer Aufgaben ein starkes Wachstum des Funktionsumfangs zu verzeichnen ist, fokussiert sich diese Ausarbeitung auf diesen Bereich. Entsprechend wird als ABk nur der Teil bezeichnet, welcher zur Bearbeitung tertiärer Aufgaben benötigt wird.

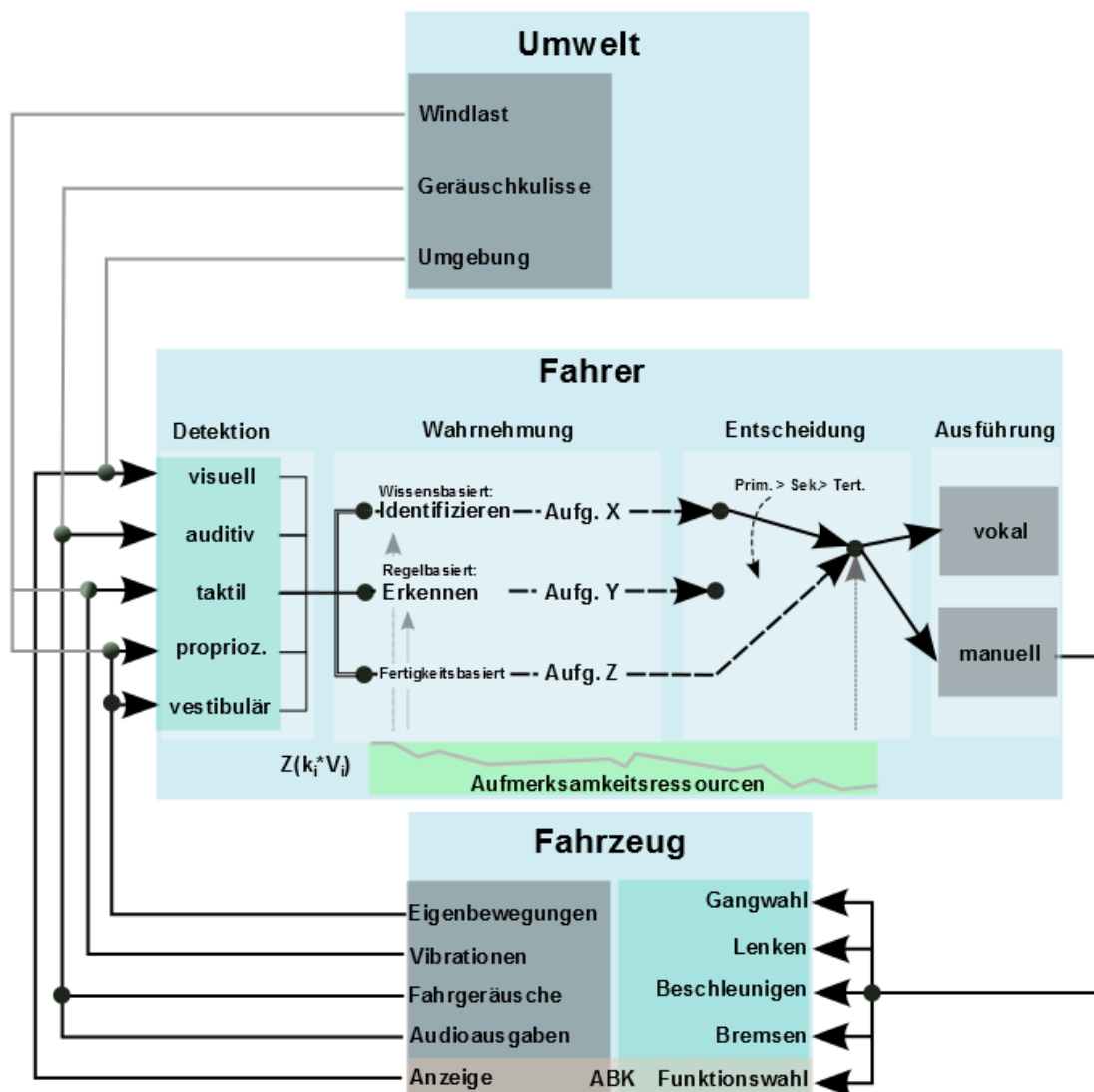
### 3.2.1 Interaktionsanalyse zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt

Um zu beurteilen, welchen Einfluss eine veränderte Informationsdarstellung eines ABk auf den Fahrer besitzt, wird dieser veränderte Informationsfluss zwischen Fahrer und Fahrzeug im Gesamtkontext Fahrer, Fahrzeug und Umwelt analysiert. Die Verarbeitungsmodelle nach Wickens (siehe auch Kap. 2.3) zur Informationsverarbeitung beziehen sich ausschließlich auf den visuellen und auditiven Kanal. Das Führen eines PTW belastet neben diesen beiden Kanälen zusätzlich den taktilen, vestibulären und propriozeptiven Kanal, wie im Folgenden dargestellt ist. Abbildung 3.3 zeigt die Informationsaufnahme des Fahrers über die menschlichen Sinneskanäle (olfaktorisch und gustatorisch hier ausgenommen) von Fahrzeug und Umwelt sowie die Interaktion des Fahrers mit dem Fahrzeug durch manuelle Ausgaben.

Die Interaktion mit dem Fahrzeug ist durch die Pfeile zwischen Fahrer (manuelle Ausgabe) und Fahrzeug dargestellt. Das Einwirken der Reize von Umwelt und Fahrzeug auf die Sinnesorgane ist durch Pfeile von Fahrzeug und Umwelt zum Bereich Detektion des Fahrers aufgezeigt. Der Informationsfluss vom Fahrzeug zum Fahrer, getrennt nach Sinneskanälen, lässt sich noch einmal darin unterscheiden, ob sie vom ABk oder dem Rest des Fahrzeugs ausgehen. Dies ist in der Abbildung im Bereich Fahrzeug am unteren Ende durch die Schattierung gekennzeichnet: Das ABk sendet sowohl visuelle Informationen durch die Anzeige als auch ggf. akustische Informationen wie Sprachausgaben oder Musikausgaben.

Es ist eine Rückkopplung, auch Regelschleife genannt, zwischen Fahrer und Fahrzeug über die Nutzung der Bedienelemente zu erkennen. Da der Fahrer im Fokus dieser Untersuchungen steht, sind zur Wahrung der Übersichtlichkeit keine Wechselwirkungen zwischen der Umwelt und dem Fahrzeug dargestellt. Auditive Reize vom Fahrzeug bestehen meist aus Fahrgeräuschen wie dem Motorengeräusch. Neben den akustischen Reizen wirkt das Fahrzeug über die Fahrzeugbewegungen vestibulär sowie propriozeptiv auf den Fahrer. Fahrzeugvibrationen werden hauptsächlich über den taktilen Kanal wahrgenommen. Die Steuerung von ABk-Funktionen erfolgt zurzeit ausschließlich manuell, eine Spracheingabe wäre generell denkbar, wie es aus dem Pkw-Segment bereits bekannt ist. In dem Fall bestünde eine zweite Verbindung zwischen Fahrer und Fahrzeug von der vokalen Ausführung zur Funktionsauswahl des Fahrzeugs.

Betrachtet man den Einfluss der Umwelt auf den Fahrer, so setzt dieser sich aus der Windlast, der Geräuschkulisse sowie den visuellen Reizen aus der Umgebungsbetrachtung



**Abbildung 3.3:** Wirksystem zur Fahrzeugführung zwischen Fahrer, Fahrzeug und Umwelt

zusammen. An den dargestellten Eingängen zu den Sinneskanälen (Bereich Detektion) ist zu erkennen, dass die Sinneskanäle weitestgehend sowohl von der Umwelt als auch vom Fahrzeug parallel stimuliert werden. Der Verarbeitungsprozess der Reize durch den Fahrer ist durch den Informationsdurchlauf von Detektion bis Ausführung dargestellt und in Kapitel 2.3 genauer beschrieben.

Wie nach Wickens<sup>10</sup> bekannt ist, ist eine Parallelisierung von Aufgaben durch das gleichzeitige Stimulieren des gleichen Sinneskanals nicht oder nur unter zusätzlicher Beanspruchung des Fahrers möglich. Bei Verfolgung des Regelkreises, der das ABK mit dem Fahrer verbindet, ist zu erkennen, dass der visuelle Kanal bereits durch die Beobachtung der Umwelt sowie der Anzeige zur Durchführung der primären Fahraufgabe (Geschwindigkeitsanzeige, Drehzahlmesser etc.) belegt ist. Das gleichzeitige Betrachten des Verkehrs und des Kombi-Instruments ist nicht möglich. Somit ist ein erster Konflikt im Bereich Detek-

<sup>10</sup>Wickens/Hollands (1984): Engineering psychology... S. 439ff.

tion zu erkennen. Zur Verarbeitung der ABk-Nutzung werden im Bereich Wahrnehmung je nach Kenntnisstand der Aufgabe fertigkeiten- bis wissensbasiert<sup>11</sup> zusätzliche Aufmerksamkeitsressourcen benötigt. Im Bereich Entscheidung bindet die ABk-Bedienung ebenfalls zusätzliche Aufmerksamkeitsressourcen, indem der Fahrer zwischen primärer Fahraufgabe und der Nebenaufgabe ABk-Nutzung priorisiert. Auch die manuelle Ausgabe wird sowohl für die primäre Fahraufgabe als auch für die ABk-Bedienung genutzt.

Um die gesamten Einflüsse des ABk auf den Fahrer und somit auf die Fahrsicherheit zu prüfen, müssten folglich die Beanspruchungen während der visuellen Informationsverarbeitung sowohl in den Bereichen Detektion, Wahrnehmung und Entscheidung (psychische Beanspruchung) als auch durch manuelle Ausgabe (psychische und physische Beanspruchung) geprüft werden.

### 3.2.2 Änderung der Fahrsicherheit durch Beeinflussung einzelner menschlicher Informationsverarbeitungsprozessschritte

Eine veränderte Beanspruchung des Fahrers und eine damit verbundene Reduktion der Fahrsicherheit ist theoretisch über jeden Sinneskanal möglich. Beispielsweise könnten sehr laute Umgebungsgeräusche die Aufmerksamkeit des Fahrers von der Fahraufgabe lenken oder seine Konzentration stören. Im Folgenden liegt der Fokus auf einer zusätzlichen visuellen Belastung. Wie bereits geklärt, kann ein ABk auch eine zusätzliche auditive Belastung hervorrufen, welche im Rahmen dieser Arbeit ausgeklammert wird.

Inhalt der in Kapitel 3.1 genannten Definition von Fahrsicherheit ist, dass die Fahrsicherheit durch visuelle Informationen vom ABk negativ beeinflusst wird, wenn die Reaktion des Fahrers auf potentielle Gefahren nicht mehr adäquat ist. Verknüpft man diese Definition mit den genannten Parallelbelastungen der Verarbeitungsschritte, ist zu erkennen, dass ein ABk die Verarbeitung der primären Fahraufgabe und eine damit einhergehende Reaktion auf Gefahren in allen vier Verarbeitungsschritten beeinflussen kann:

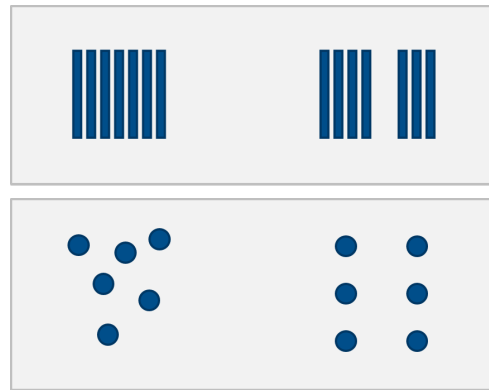
Der Verarbeitungsschritt der Detektion befasst sich, wie in Kapitel 2.3 erklärt, ausschließlich mit der Reizaufnahme: Bezogen auf den visuellen Kanal entspricht dies dem Einfallen von Licht auf die Netzhaut. Dieser Prozessschritt ist über ein ABk beeinflussbar und entsprechend zwischen zwei ABk vergleichbar, da der Sensor Auge unterschiedlich lang auf ein Anzeige-Element des ABk ausgerichtet sein kann und so gegebenenfalls kürzer die für die Fahraufgabe notwendige Fahrumgebung wie den Verkehr betrachtet. Ein auftauchendes Hindernis wird somit gegebenenfalls später erkannt, sodass die Zeit zwischen Auftauchen der Gefahr und Reaktion zur Unfallvermeidung verlängert wird.

Der darauf folgende Verarbeitungsschritt der Wahrnehmung, im Folgenden Verarbeitung genannt, welcher sich mit dem Korrelationsprozess und der darauf folgenden Aufgabenableitung befasst, lässt sich über den Vergleich der Dauer des Korrelationsprozesses bei gleicher Erkennungsaufgabe bewerten. Als Beispiel seien hier die Erkennung der Anzahl Objekte in Abbildung 3.4 genannt. Obwohl in den Abbildungen oben und unten jeweils links und rechts die gleiche Anzahl Objekte abgebildet sind, benötigt der Korrelationsprozess für den rechten Teil der Abbildungen deutlich weniger Zeit als für den linken.

Dieses Phänomen lässt sich auch auf Anzeige-Elemente von unterschiedlichen ABk übertragen: Hier besteht eine optimierte Korrelation beispielsweise in einer schnelleren Ablesbarkeit von Anzeigen. Ist das Gegenteil der Fall, betrachtet ein Fahrer eine abzulesende

---

<sup>11</sup>Rasmussen: Skills, rules... S. 257ff.



**Abbildung 3.4:** Beispiele für unterschiedlich schnelle Korrelationsprozessdauern: Durch bestimmte Muster lässt sich der Korrelationsprozess verkürzen

Anzeige länger als notwendig und besitzt somit weniger Zeit dem visuellen Teil der primären Fahraufgabe nachzukommen - die Fahrsicherheit sinkt.

Nach dem erfolgreichen Ableiten einer Aufgabe aus den visuellen Informationen erfolgt der Prozessschritt der Priorisierung. Wie die Bezeichnung bereits sagt, entscheidet dieser Prozessschritt, welche Aufgabe zuerst abgearbeitet und somit zuerst an den Schritt Ausführung weitergeleitet wird.

Als Beispiel, das einen Fahrer zu einer Fehlpriorisierung verleiten kann, sei ein laufendes Textband genannt. Will der Fahrer alle Informationen aufnehmen, muss er ab einer bestimmten Textgeschwindigkeit konstant auf das Display schauen. Je nach Wichtigkeit der dargestellten Information, kann dies zu einer verlängerten Vernachlässigung der primären Fahraufgabe führen und somit zum Sinken der Fahrsicherheit.

Den letzten Verarbeitungsschritt stellt die Ausführung der Aufgabe dar. Ein ABk beeinflusst in diesem Prozessschritt die primäre Aufgabe negativ, wenn die manuelle Ausführung derselben nicht mehr sofort möglich ist. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Bremsung (mit der Vorderradbremse) eingeleitet werden muss, die rechte Hand sich jedoch nicht an der Bremsarmatur befindet, sondern mit der Bedienung eines zentral angebrachten Navigationssystems via Touchscreen beschäftigt ist. Der Fahrer benötigt zusätzliche Zeit, um die Hand zurück zur Armatur zu führen, sodass die Zeit zur Einleitung der Verzögerung steigt - somit sinkt die Fahrsicherheit.

Neben den Verarbeitungsschritten sind im vorgestellten Modell zur menschlichen Signalverarbeitung die Aufmerksamkeitsressourcen dargestellt. Wie bereits im Grundlagenteil in Kapitel 2.3 aufgezeigt, wird diese Größe von den Prozessschritten Verarbeitung und Entscheidung genutzt. Wann diese Ressourcen maximal ausgeschöpft sind, ist stark abhängig von der Parallelisierbarkeit der Aufgaben.

Stehen nicht mehr ausreichend Aufmerksamkeitsressourcen zur Verfügung, verlangsamt und/oder verringert sich die Qualität der Verarbeitungsschritte. Ein ABk kann die Nutzung der Aufmerksamkeitsressourcen indirekt durch unterschiedlich stark benötigte Ressourcen während der Prozessschritte Verarbeitung und/oder Entscheidung beeinflussen. Somit beeinflusst auch ein Mangel an Aufmerksamkeitsressourcen die Fahrsicherheit.

Betrachtet man die dargestellten Beispiele genauer, fällt auf, dass starke Interdependenzen zwischen den Prozessschritten bestehen. Eine vermehrte Priorisierung der ABk-Benutzung führt beispielsweise bei einer visuellen Informationsaufnahme notwendigerweise



zu einer vermehrten Ausrichtung der Augen auf die Anzeige sowie zu vermehrten Korrelationsprozessen zur Informationsaufnahme.

### 3.3 Zwischenfazit

Eine Recherche über passende Definitionen von Fahrsicherheit bezogen auf den Einfluss von Anzeigekonzepten zeigte, dass Fahrsicherheit je nach Anwendungsgebiet unterschiedliche Definitionen besitzt und für dieses Gebiet noch keine passende Definition formuliert wurde. Deshalb wurde die folgende Definition als Arbeitsgrundlage geschaffen, die Veränderungen im Bereich Fahrer und Fahrzeug umfasst:

*Die Fahrsicherheit bei der Nutzung eines ABk ist nicht durch dieses beeinträchtigt, wenn ein Fahrer nur so viele visuelle Informationen bereitgestellt bekommt, dass er auf kritische Situationen zu jeder Zeit adäquat reagieren kann.*

Auf dieser Basis erfolgte eine Einflussanalyse von visuellen Informationen auf den Fahrer. Es wurde herausgearbeitet, dass sowohl die menschlichen Signalverarbeitungsschritte (Detektion, Verarbeitung, Priorisierung und Ausführung) als auch die Aufmerksamkeitsressourcen zu beobachten sind, um eventuelle Änderungen in der Fahrsicherheit detektieren zu können.

Es stellen sich nun die Fragen, ob aktuelle Richtlinien aus dem Pkw-Sektor alle genannten Prozessschritte überwachen und die Indikatoren aus diesen Richtlinien auf den PTW-Sektor übertragbar sind.

---

## 4 Internationale Richtlinien zur Gestaltung von ABk für den Pkw-Sektor

In Abschnitt 1.2 der Einleitung wurde das Ziel erläutert, eine Absicherungsmethode neuer Anzeige- und Bedienkonzepte von PTW zu erarbeiten. Da es bereits eine Vielzahl Richtlinien<sup>1</sup> sowie Normen<sup>2</sup> zur Einschränkung des Einflusses von ABk im Pkw-Sektor gibt, werden die vier bekanntesten Richtlinien zusammengefasst vorgestellt. Für tiefer gehende Vergleiche sei auf die entsprechende Literatur verwiesen<sup>3</sup>.

### 4.1 Zusammenfassung aktueller Richtlinien

Diese Zusammenfassung umfasst die folgenden Richtlinien zur Beschränkung von Anzeige- und Bedienkonzepten:

- Die Richtlinien der Europäischen Kommission: *European Statement of Principles* - kurz ESoP
- Die Richtlinien der *Japanese Automotive Manufacturers Association* - kurz JAMA
- Die Richtlinien der *Alliance of Automotive Manufacturers* - kurz AAM
- Die Richtlinien der *National Highway Traffic Safety Agency* - kurz NHTSA

Die Geltungsbereiche der Richtlinien unterscheiden sich in ihrem Umfang, alle gelten jedoch für in Pkw installierte Informationssysteme. Keine der Richtlinien gilt auch für PTW. Ausgeschlossen werden zum Teil sprachgesteuerte Systeme (ESoP) oder Anzeigen für die primäre Fahraufgabe wie Geschwindigkeitsanzeige (AAM und NHTSA). Auch diese Arbeit fokussiert auf den Einfluss der tertiären Aufgaben, sodass vorausgesetzt wird, dass die Anzeigen und Bedienelemente zur Ausführung der primären und sekundären Fahraufgabe die Fahrsicherheit nicht reduzieren. Deshalb sind im weiteren Verlauf mit dem Begriff Anzeige- und Bedienkonzept ausschließlich Anzeigen und Bedienelemente für tertiäre Aufgaben (auch Nebenaufgaben genannt) gemeint.

---

<sup>1</sup>Department of Transportation (2012): Visual-Manual NHTSA...; Driver Focus-Telematics Working Group (2002): Statement of Principles...; The Commission Of The European Communities (2006): Commission Recommendation...; Japan Automobile Manufacturers Association (2004): Guideline for In-vehicle Display Systems...

<sup>2</sup>ISO 11429:1996 (1996): Ergonomics...; ISO 15005:2002 (2002): Road vehicles...; ISO 15008:2009 (2009): Road vehicles...

<sup>3</sup>Schindhelm et al. (2004): Report on the review...; Hei (2013): Fighting Driver Distraction...; International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (2015): Recommended OICA...

Die Richtlinien umfassen mehrere Themengebiete - auch Prinzipien genannt. Diese beschränken beispielsweise die Position der Systeme relativ zur Sicht auf das Verkehrsszenario, die Interaktion mit den ABk, wie das Sicherstellen der Unterbrechbarkeit der Aufgaben oder auch die Art der Darstellung von Texten und Symbolen. Im Rahmen dieser Arbeit liegt der Fokus auf dem Aufnahme- und Verarbeitungsprozess von Informationen. Verbauort und -art sowie Bedienelemente werden nicht variiert.

Heinrich<sup>4</sup> fasst die Richtlinien mit fünf Punkten zusammen, die in Tabelle 4.1 links aufgelistet sind. Gegenübergestellt auf der rechten Seite ist eine Zuordnung zu den zu überwachenden Dimensionen. Der erste Punkt der Zusammenfassung ist allgemein gehalten, beschreibt jedoch die in dieser Arbeit gewählte Definition von Fahrsicherheit für ABk.

Zusammengefasster Inhalt der Richtlinien <sup>4</sup>	Zuordnung der Dimension
Displays und Bedienelemente sollten nicht die primäre Fahraufgabe stören	Definition Fahrsicherheit
Notwendige Informationen sollten mit kurzen Blicken einfach wahrnehmbar sein	Detektion
Dialoge sollten klar strukturiert und leicht verständlich sein	Verarbeitung
Dialoge sollten keine zeitkritischen Handlungen benötigen	Priorisierung
Komplexe Operationen und Informationen sollten während der Fahrt deaktiviert werden	Aufmerksamkeitsressourcen

**Tabelle 4.1:** Zusammenfassung der Richtlinien nach Heinrich<sup>4</sup> sowie Gegenüberstellung der Prozessschritte

Vergleicht man die zugeordneten Dimensionen mit allen zu überwachenden Dimensionen, fällt auf, dass die Zusammenfassung nicht die manuelle Ausgabe umfasst. Diese ist in den Richtlinien selbst jedoch zu finden, sodass nicht die Richtlinien unvollständig sind, sondern die Zusammenfassung hier einen anderen Fokus besitzt. Stellt man die in dieser Arbeit formulierte Forderung, alle Prozessschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen zu beobachten, den Forderungen der Richtlinien gegenüber, decken sich die Forderungen.

Im nächsten Schritt dieser Arbeit erfolgt eine Untersuchung der vorgeschlagenen Testmethoden, um die Prozessschritte zu überwachen. Hierbei fällt auf, dass das ESoP aus allgemein gehaltenen Prinzipien besteht, in denen positive und negative Beispiele genannt sind - Messmethoden werden nicht vorgestellt. Die Richtlinien der JAMA geben Forderungen für (virtuelle oder reale) Studien an, zur Sicherstellung der Fahrsicherheit: Die summierte Gesamtdauer der Blicke auf die Nebenaufgabe<sup>5</sup> sollte kleiner 8 s sein. Deutlich detaillierter sind die Inhalte der Richtlinien von NHTSA und AAM. Da die NHTSA-Richtlinie sowohl historisch als auch inhaltlich auf den Richtlinien der AAM aufbaut, wird im Folgenden ausschließlich die Richtlinie der NHTSA untersucht.

Sie beschreibt die folgenden zwei Versuchsmethoden zur Bewertung von ABk:

<sup>4</sup>Hei (2013): Fighting Driver Distraction...

<sup>5</sup>Entspricht dem Indikator EORT, wenn ausschließlich auf die Nebenaufgabe und den Verkehr fokussiert wurde.

1. Fahrsimulationsversuche
2. Studie mit Okklusionsmethode<sup>6</sup>

Die Okklusionsmethode stellt eine Methode dar, die Blickabwendungen von einer ABk-Bedienung simuliert. Sie wird hier nicht vorgestellt, da die Validität der Ergebnisse als geringer angesehen wird als bei Fahrsimulator-Versuchen<sup>7</sup>. Entsprechend liegt der Fokus im weiteren Verlauf ausschließlich auf den Ausführungen der Richtlinien zu Fahrsimulatorversuchen. Auf die Thematik „Fahrsimulatoren als valide Messumgebung“ wird in Kapitel 5.2 detaillierter eingegangen. Hier wird vorerst eine adäquate Messumgebung angenommen, um die Grenzwerte zu bestimmen.

Die Fahrsimulatorversuche lassen sich weiter unterteilen in Versuche mit Benchmark-Tests und Versuche mit Absolutwerten. Versuche mit Benchmark-Tests beinhalten das Messen der Fahrerbeanspruchung bei einer bekannten Nebenaufgabe (Navigationsziel-Eingabe oder Radio-Bedienung) und vergleichen die Beanspruchungsfolgen aus dieser Nebenaufgabe mit denen, die sich aus der zu untersuchenden Aufgabe ergeben. Dieses Vorgehen wird aus zwei Gründen für PTW abgelehnt: Die für den Pkw-Sektor gewählten Benchmark-Aufgaben stellen im PTW-Sektor keine üblichen Aufgaben während der Fahrt dar. Während für Pkw-Fahrer angenommen wird, dass diese Nebenaufgaben eine sichere Vergleichsaufgabe darstellen, kann dies für PTW-Fahrer nicht ohne Weiteres angenommen werden. Da die Erledigung von Nebenaufgaben während des Führens eines PTW erst seit wenigen Jahren in verschiedenen PTW möglich ist, kann zur Zeit keine Nebenaufgabe abgeleitet werden, die Fahrer-übergreifend bekannt ist und als sicher angesehen werden kann. Hinzu kommt, dass Nebenaufgaben wie Radio- oder Navigationsbedienungen im PTW-Sektor zurzeit sehr unterschiedlich ausfallen. Sowohl Bedienelemente (Touchscreen, Joy-Stick etc.) als auch Anzeigeelemente unterscheiden sich stark, sodass das Ergebnis eines Benchmark-Tests gegen eine dieser Bedienungen stark abhängig wäre von der gewählten Aufgabe während der Benchmark-Fahrt.

Die unterschiedlichen Richtlinien schlagen zur Absicherung der Anzeigeelemente unterschiedliche Kennwerte sowie Grenzwerte für die Kennwerte vor. Am detailliertesten beschreiben die NHTSA Guidelines, wie die beschriebenen Kennwerte zu ermitteln sind und welche Randbedingungen dabei gelten müssen. Für die Methode der Fahrsimulation werden Kennwerte zur Beurteilung des Blickverhaltens sowie die Fahrleistung beschreiben, siehe Tabelle 4.2. Es werden zwei unterschiedliche Versuchsdesigns bezüglich der primären Fahraufgabe vorgeschlagen und drei unterschiedliche Zusammenstellungen von Grenzwerten.

Die in der Tabelle aufgelisteten Kennwerte sind im Grundlagenteil (Kap. 2.4) erklärt, sodass sie hier als bekannt vorausgesetzt werden. Es ist zu erkennen, dass die Konfiguration Nr. 1 ausschließlich Blickdaten bewertet, während Konfiguration Nr. 2 das längs- und querdynamische Fahrverhalten bewertet. Beide Konfigurationen besitzen die gleiche primäre Fahraufgabe: Eine Folgefahrt, wobei das vorausfahrende Fahrzeug (Hasenfahrzeug) eine konstante Geschwindigkeit von  $v_{Hase} = 80,47 \text{ km/h}$ <sup>8</sup> einhält. Konfiguration Nr. 3 liegt eine komplexere primäre Fahraufgabe zugrunde: Die Folgefahrt wird hier mit einem über der Zeit veränderlichen Geschwindigkeitsprofil  $v_{Hase} = v(t)$  durchgeführt, sodass der

---

<sup>6</sup>ISO 16673:2007 (2007): Road vehicles....

<sup>7</sup>Bengler (06.11.2013): Evaluation and Reduction....

<sup>8</sup>Originalangabe: 50 mph

Nr.	Grenzwerte NHTSA Guidelines	Grenzwerte AAM	Grenzwerte JAMA
1	$EORT < 12\text{ s}^1$ $MGD < 2\text{ s}^1$ $BLV \leq 0,15$	$EORT < 20\text{ s}$ $MGD < 2\text{ s}$	$EORT < 8\text{ s}$
2	$n_{Verlassen}/n_{Nebenaufgaben} \leq 0,06$ $\sigma_{TG} \leq 0,35\text{ s}$		
3	$EORT < 12\text{ s}^1$ $MGD < 2\text{ s}^1$ mind. 3 von 4 Kriterien erfüllen: $SDLP < 0,305\text{ m}^2$ $Latenz < 4,6\text{ s}$ $Score_{DRT} > 80\%$ $\Delta t_{DRT} \leq 1\text{ s}$		

<sup>1</sup> Für 21 von 24 Probanden<sup>2</sup> Originalangabe: 1 ft

**Tabelle 4.2:** Auflistung der Grenzwerte zur Bewertung von visuell dargestellten Informationen aus den Richtlinien JAMA, AAM und NHTSA

Proband stets seinen Abstand zum Hasenfahrzeug korrigieren muss, um einen konstanten Abstand zu halten. Zusätzlich zur zu bewertenden Nebenaufgabe ist der Proband angehalten, eine optische Erkennungsaufgabe (Detection Response Task - kurz DRT) durchzuführen (für eine detaillierte Erklärung siehe NHTSA-Guidelines<sup>9</sup>). Für diese Konfiguration liegen Grenzwerte im Bereich Blickdaten, Fahrdaten sowie Leistungsdaten der optischen Erkennungsaufgabe vor.

Von der Durchführung einer zusätzlichen Aufgabe wie in Konfiguration Nr. 3 der DRT wird zur Beurteilung einer Nebenaufgabe abgeraten, da dies vor allem den Prozessschritt Priorisierung stark belastet. Der Fahrer hat dann zwischen drei Aufgaben (Fahraufgabe, zu untersuchende Nebenaufgabe, DRT) zu priorisieren. Da durch eine veränderte Priorisierung, wie bereits erwähnt, auch die anderen Prozessschritte beeinflusst werden können, bringt die zusätzliche Aufgabe unnötig höhere Komplexität in die Messung.

Den Richtlinien der AAM sind ausschließlich die Grenzwerte *EORT* sowie *MGD* zu entnehmen. Es ist zu erkennen, dass dem Fahrer eine größere Blickabwendungszeit zugestanden wird. Eine Beschreibung, wie die Kennwerte zu ermitteln sind, ist nicht vorhanden. Die Richtlinien der JAMA schreiben ausschließlich den Kennwert *EORT* vor, wobei dieser am geringsten von den drei Richtlinien gewählt ist. Auch hier fehlt eine Vorschrift zur Messung des Kennwerts.

Abgesehen von den Leistungsdaten des DRT werden alle in Tabelle 4.2 gelisteten Kennwerte für eine Übertragbarkeitsuntersuchung auf den PTW-Sektor vorgemerkt. Voraussetzung für die Übertragbarkeit der Grenzwerte ist, dass sowohl die Grundbelastung durch die Fahraufgabe beim Führen eines PTW der beim Führen eines Pkw entspricht. Ob diese

<sup>9</sup>Department of Transportation (2012): Visual-Manual NHTSA... S. 10ff.

Voraussetzung gegeben ist, wird im folgenden Kapitel erarbeitet.

Ist die qualitative Übertragbarkeit der Kennwerte gegeben, ist in einem nächsten Schritt zu prüfen, ob die im Pkw-Sektor ermittelten Grenzwerte auf den PTW-Sektor übertragbar sind. Diese Grenzwerte wurden unter anderen über Benchmark-Studien ermittelt, in denen das Blick- und Fahrverhalten während der Durchführung der bereits genannten Benchmark-Aufgaben Radio-Einstellung und Navigationssystem-Bedienung beim Führen eines Pkw ermittelt wurde. Wie für den Ausschluss der Benchmark-Vergleichsstudien selbst, ist die Übertragbarkeit der durch diese Benchmark-Aufgaben ermittelten Grenzwerte auf den PTW-Bereich fraglich.

## 4.2 Prüfung der Übertragbarkeit

Die Fahrzeugführung, welche eine Mensch-Maschine-Interaktion darstellt, lässt sich durch ihre Art der Aufgaben an den Mensch und speziell hier an den Fahrer kategorisieren. Generell kann eine Mensch-Maschine-Interaktion aus überwiegend geistiger, überwiegend körperlicher oder gemischter Arbeit bestehen<sup>10</sup>. Zur Prüfung, ob die Richtlinien für Pkw auch auf PTW übertragbar sind, wird deshalb im Folgenden verglichen, ob sich die Anforderungen der Fahraufgaben an den Fahrer durch die unterschiedlichen Fahrzeugarten (Pkw oder PTW) voneinander deutlich unterscheiden. Unterschiedliche Anforderungen an den Fahrer - im weiteren Verlauf Belastungen genannt - führen abhängig vom Zustand des Fahrers zu einer Beanspruchung (siehe Kap. 2.3.2). Erreicht der Fahrer durch eine Änderung der Belastung schneller eine Beanspruchungsgrenze (Übergang von Herausforderung zu Überforderung, siehe Kap. 2.3.4), so können für den Pkw-Sektor gewählte Grenzen von Indikatoren nicht als Grenzwerte für den PTW-Sektor herangezogen werden.

Laut NHTSA werden mit den NHTSA-Guidelines die folgenden drei Aspekte geprüft:

- Visuelle Belastung
- Kognitive Belastung
- Manuelle Belastung

In Kapitel 3.2 wurde gezeigt, dass die Aufgabe der Fahrzeugführung sowohl aus physischen als auch aus psychischen Belastungen besteht. Um die Übertragbarkeit der Pkw-Richtlinien auf den PTW Sektor zu klären, wird deshalb im Folgenden analysiert, ob sich die Belastungen bei den unterschiedlichen Fahrzeugarten unterscheiden.

In Schell<sup>11</sup> und Guth<sup>12</sup> sind einige Charakteristika von PTW aufgeführt, die zu einer erhöhten Belastung des PTW-Fahrers gegenüber eines Pkw-Fahrers beitragen:

- Körperliche Einschränkungen durch Tragen von Sicherheitsbekleidung und Helm
- Instabilität bei niedrigen Geschwindigkeiten
- Komplexes Lenkverhalten
- Einfluss der Fahrerposition auf das Fahrverhalten

---

<sup>10</sup>Bubb et al. (2015): Automobilergonomie S. 18.

<sup>11</sup>Schell (2002): Untersuchungen zur Mensch-Maschine-Schnittstelle....

<sup>12</sup>Guth et al. (2016): Motorcycle Riding Simulator....

- Niedriges Masse-Leistungs-Verhältnis<sup>13</sup>
- Einwirken von Fahrtwind auf den Fahrer
- Starke Vibrationen
- Hohe Schräglage während Kurvenfahrten

Diese Zusatzbelastungen werden im Folgenden aufgeteilt nach ihrer Belastungsart analysiert.

### 4.2.1 Physische Belastung

Wie bereits genannt, stellen die in Abbildung 3.3 als Pfeile dargestellten Signale die physischen Belastungen des Fahrers dar. Die physischen Belastungen lassen sich in folgende Aspekte gliedern:

1. Belastungen durch manuelle Ausgaben
2. Belastungen durch Informationsaufnahme und einwirkende Kräfte

Die manuellen Ausgaben eines Fahrers beim Führen eines Pkw im Normalfahrbereich, also in nicht kritischen Fahrsituationen, führen zu einer physischen Beanspruchung wie beispielsweise das Betätigen des Bremspedals oder das Aufbringen des Lenkmoments auf das Lenkrad. Die maximal zulässigen Stellkräfte für Lenkung, Kupplung etc. sind in der Bundesrepublik Deutschland begrenzt durch die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung<sup>14</sup>. Stellkräfte für Bedienelemente wie Schalter, Hebel etc. sind beispielsweise reglementiert durch die Deutsche Industrie-Norm 33401<sup>15</sup>. Hierdurch ist eine generelle Vergleichbarkeit der Stellkräfte von Pkw und PTW möglich. Die benötigten Stellkräfte zum Steuern eines PTW sind meist höher als bei Pkw. Abgesehen von geometrischen Unterschieden der Lenkssysteme trägt die Verbreitung von hydraulisch und/oder elektrisch unterstützten Lenkssystemen im Pkw-Sektor, welche im PTW-Sektor aktuell nicht vorhanden sind, dazu bei.

Hinzu kommt, dass der Motorradfahrer die Möglichkeit besitzt, die Schräglage des PTW und damit die Bahnführung durch Verschiebung seiner Körperposition relativ zum PTW zu beeinflussen. Je nach Fahrstil können hierdurch starke zusätzliche physische Belastungen entstehen.

Bei Betrachtung der einwirkenden Kräfte auf den Pkw- und PTW-Fahrer sind ebenfalls Unterschiede zu erkennen. Je nach Fahrzeugart ist ein Motorradfahrer dem Fahrtwind in großen Teilen ausgesetzt, während der Pkw-Fahrer durch ein meist geschlossenes Fahrzeug vor (Fahrt-)Wind und anderen Witterungsbedingungen geschützt ist. Trägheitskräfte, die auf den PTW-Fahrer wirken, stützt der PTW-Fahrer über seine Arme und/oder das Verklemmen des Körpers mit dem Fahrzeug durch Anspannen der Beinmuskulatur am Fahrzeug ab. Der Pkw-Fahrer wird durch seinen Sitz sowie den Sicherheitsgurt an seiner Sitzposition gehalten, sodass er kaum merkliche zusätzlichen Kräfte aufbringen muss.

---

<sup>13</sup>auch Leistungsgewicht genannt: Quotient aus der Masse und der Leistung eines Fahrzeugs

<sup>14</sup>Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz (26.04.2012): Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO).

<sup>15</sup>DIN 33401 (1978): Stellteile; Begriffe, Eignung, Gestaltungshinweise.

Abgesehen von den genannten Trägheits- und Flächenkräften, hat Kuschefski<sup>16</sup> aufgezeigt, dass die Informationsflut auf einen Motorrad-Fahrer je nach Sinneskanal um mehr als den Faktor vier höher sein kann als die auf einen Pkw-Fahrer. Anhand der sogenannten Komfort-Pyramide ist in Abbildung 4.1 dargestellt, wann eine Sinnesbelastung als störend empfunden wird. Hierbei wird davon ausgegangen, dass Störungen sequentiell wahrgenommen werden, vom Pyramidenfuß aufwärts. Erst, wenn ein Fahrer Geruch nicht mehr als störend empfindet, nimmt er ggf. in der Pyramide höher auftretende Störungen in der dargestellten Reihenfolge wahr. Um einen Vergleich zwischen Pkw und PTW zu erlangen, führte Kuschefski eine Umfrage durch, in der Motorrad-Fahrer, die auch Pkw fahren, abschätzen sollten, wie hoch die Belastungsunterschiede in den jeweiligen Ebenen sind. Es ist zu erkennen, dass die Befragten sämtliche Belastungen während der Motorradfahrt als größer empfinden als während einer Fahrt mit dem Pkw.

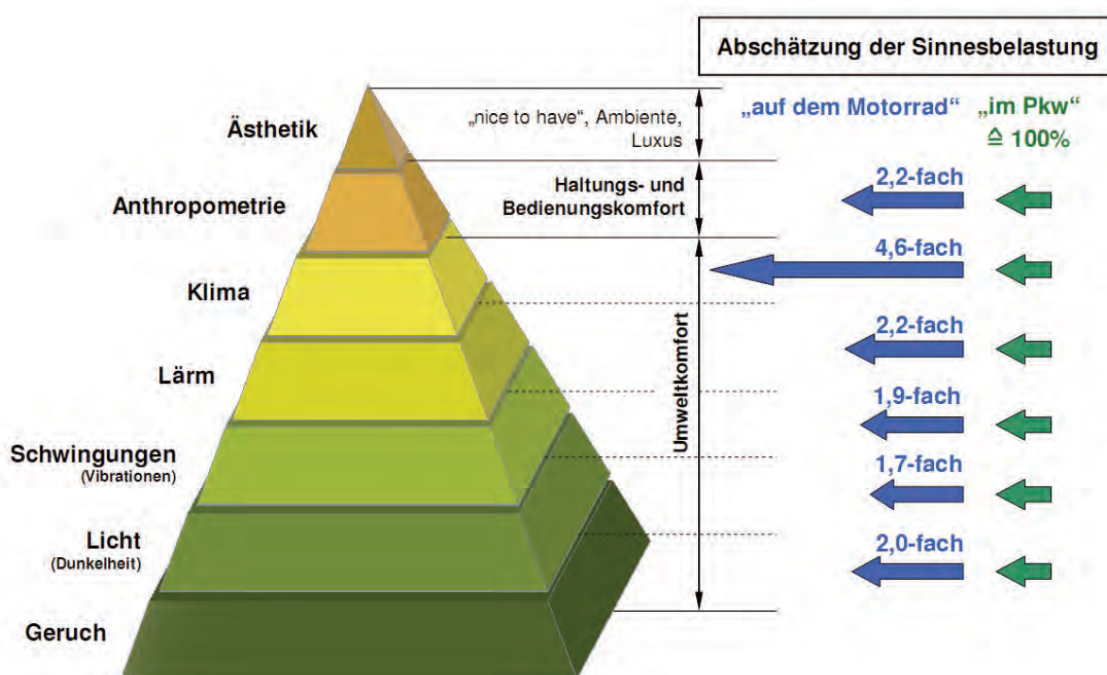


Abbildung 4.1: Vergleich der Belastungen aufgeteilt nach den Sinneskanälen<sup>16</sup>

Es kann somit gesagt werden, dass die physische Grundbelastung beim Führen eines PTW deutlich höher ist als beim Führen eines Pkw. So verweisen auch unterschiedliche Fachleute darauf, dass Motorradfahren eine körperlich anstrengende Sportart darstellen kann<sup>17</sup> und ein gewisses Mindestmaß an Fitness empfohlen wird<sup>18</sup>.

## 4.2.2 Psychische Belastung

Der Aspekt kognitive (oder psychische) Belastung der NHTSA Richtlinie bezieht sich auf die kognitiven Ressourcen (in der Abbildung mit Aufmerksamkeitsressourcen bezeichnet)

<sup>16</sup>Kuschefski/Haasper/André (2010): Advanced Rider Assistance Systems... S. 156

<sup>17</sup>Nietschke et al. (2008): Blutdruck- (RR), Herzfrequenz- (HF) und Energieprofil- (EP)...

<sup>18</sup>Kutschera (2016): Fit for fun.



während der menschlichen Informationsverarbeitung. Um die Unterschiede in der Inanspruchnahme der Ressourcen zwischen der Pkw- und PTW-Führung zu verdeutlichen, wird der menschliche Signalverarbeitungsprozess genauer beleuchtet (siehe auch Kapitel 2.3).

Im Bereich des Fahrers in Abbildung 3.3 ist schematisch der Verarbeitungsprozess in die Prozessschritte Detektion, Wahrnehmung, Entscheidung und Ausführung nach Wickens<sup>19</sup> aufgeteilt. Eine Übertragbarkeit der Pkw-Richtlinien ist somit nur gegeben, wenn die Belastungen auf den Fahrer in allen vier Prozessschritten den gleichen Größenordnungen entsprechen. Wie im vorangegangenen Kapitel vorgestellt, ist die Höhe der Informationsaufnahme beim Führen eines PTW jedoch um bis zu Faktor 4,6 größer als beim Führen eines Pkw. Somit ist bei Verarbeitung dieser erhöhten Informationsflut eine höhere kognitive Belastung beim Führen eines PTW zu erwarten.

Betrachtet man die Sinneskanäle einzeln, so lässt sich zu jedem Kanal mindestens ein Unterschied zur Fahraufgabe bei der Pkw-Führung finden, siehe Tabelle 4.3.

Sinneskanal	Zusatzbelastung bei der PTW-Fahrt
visuell	Einschränkung des Gesichtsfelds durch Tragen eines Helms
auditiv	Erhöhte Belastung durch Fahrtwind und Motorengeräusch
taktil	Erhöhte Belastung vorrangig durch Motorvibrationen
propriozeptiv	Erhöhte Belastung durch hohe Lenkmomente sowie hohe Längs- und Querdynamik
vestibulär	Erhöhte Belastung durch hohe Längs- und Querdynamik

**Tabelle 4.3:** Zusätzliche Belastungen während einer PTW-Fahrt im Vergleich zu einer Pkw-Fahrt, differenziert anhand der Sinneswahrnehmung

All diese Punkte beeinflussen den menschlichen Verarbeitungsprozess, sodass die auf die Detektion folgenden Prozesse unweigerlich mitbeeinflusst werden. Hinzu kommen die Unterschiede in den Verarbeitungsschritten selbst. Die Regelaufgaben zur Fahrzeugführung unterscheiden sich zum Teil stark: Als Beispiel sei hier der erhöhte Stabilisierungsaufwand bei niedrigen Geschwindigkeiten genannt<sup>20</sup>.

Wie aus Abbildung 3.3 zu entnehmen ist, stellt die ABk-Bedienung eine parallele Zusatzbelastung neben der Fahraufgabe dar. Vor dem Hintergrund, dass das Führen eines PTW im Vergleich zur Pkw-Führung situationsabhängig eine höhere Grundbelastung sowohl physisch als auch psychisch darstellen kann, ist eine vorbehaltlose Übertragbarkeit der quantitativen Grenzwerte aus dem Pkw-Sektor nicht zu empfehlen.

## 4.3 Zwischenfazit

Dieses Kapitel hat die vier Richtlinien der JAMA, AAM, NHTSA sowie der Europäischen Kommission bezüglich der optischen Belastung durch Anzeigeelemente zusammengefasst. Hierbei wurde gezeigt, dass die Richtlinien Indikatoren zur Überwachung aller Verarbeitungsschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen empfehlen. Die Richtlinien schlagen

<sup>19</sup>Wickens (1992): Engineering Psychology... S. 17ff.

<sup>20</sup>Cossalter (2008): Motorcycle dynamics S. 283ff.

vor, dass nur eine Untermenge der genannten Indikatoren erfasst werden muss, sodass nicht mehr alle Schritte geprüft werden. Wird im Laufe der Untersuchungen dieser Arbeit nachgewiesen, dass eine Verminderung der Fahrsicherheit isoliert über einzelne Verarbeitungsschritte möglich ist, wäre die Erfassung von Indikatorgruppen, die nicht alle Verarbeitungsschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen umfassen, nicht ausreichend, um ein Anzeige-konzept zu bewerten.

Zum Ende des Kapitels wurde gezeigt, dass die Übertragbarkeit der genannten Grenzwerte aus den Richtlinien in Frage gestellt werden muss, da sowohl die psychische als auch die physische Belastung während der Motorradfahrt im Gegensatz zur Pkw-Fahrt deutlich höher liegen kann. Im Gegensatz zum Pkw-Sektor kann für den PTW-Sektor keine Nebenaufgabe gefunden werden, die als ungefährlich eingestuft wird oder als Aufgabe mit akzeptiertem Gefahrenpotential gesellschaftlich akzeptiert ist. Es stellt sich nun die Frage, wie Grenzwerte für den PTW-Sektor ermittelt oder wie auf andere Weise Anzeige-konzepte bezüglich Fahrsicherheit beurteilt werden können.

---

## 5 Auswahl des Bewertungskonzepts

Durch die im vorangegangenen Kapitel genannten Eigenheiten von PTW sind Belastungen des Fahrers beim Führen eines PTW stärker vom aktuellen Fahrzustand des Fahrzeugs abhängig als beim Führen eines Pkw. Wollte man Grenzwerte für eine bestimmte Aufgabe wie eine Radiobedienung definieren, so wären zuerst die Beanspruchungsgrenzen von Motorradfahrern aus den Belastungen zu finden und diese mit den Beanspruchungen einer Pkw-Fahrt zu vergleichen. Es wurde gezeigt, dass das Führen eines PTW eine multisensorische Regelungsaufgabe darstellt, die von der Belastung unterschiedlicher Sinneskanäle abhängt. Diese wiederum hängen von vielen Faktoren, wie dem Fahrzeugtyp, dem Fahrstil, der Strecke, den Fahrfertigkeiten u.v.m. ab. Diese Faktoren können nur berücksichtigt werden, indem das Maximum der Belastung angenommen wird, da der aktuelle Zustand all der Einflussfaktoren nicht während der Fahrt geprüft und das ABk angepasst werden kann. Beispielsweise ist ein Fahranfänger ggf. überfordert, während einer Kurvenfahrt zu telefonieren, wohingegen dies für einen routinierten Fahrer kein Problem darstellt. Ein gesetzliches Verbot zum Telefonieren während der (Kurven-)Fahrt könnte daher von Nachteil für den Routenier sein, da dieser vielleicht ein Gespräch geführt hat, um eine ihn unterfordernde Fahrsituation auszugleichen. Dass auch die Unterforderung eines Fahrers hohes Gefährdungspotential besitzt, ist in Kapitel 2.3.4 dargestellt.

Auch das Herunterbrechen von Grenzwerten zur Belastung auf jeden Sinneskanal einzeln ist nicht empfehlenswert, da trotz Einhaltung der einzelnen Grenzwerte eine Überbeanspruchung bei gleichzeitiger Belastung von nicht parallelisierbaren Verarbeitungsprozessen möglich ist. Wird dieser Grenzwert so stark gesenkt, dass auch nur unter hoher Beanspruchung parallelisierbare Prozesse sicher durchgeführt werden können, kann dies wiederum zu starker Reglementierung mit daraus resultierender Unterforderung des Fahrers bei parallelisierbar verarbeitbaren Reizen führen.

### 5.1 Vergleichende Beurteilung von ABk

Um diese Problematik aufzulösen, wird ein nicht-restriktiver Ansatz gewählt: Statt Grenzwerte für einzelne ABk-Funktionen oder Sinneskanäle zu vergeben, erfolgt ein Vergleich von Indikatoren, der die Belastungen in den Prozessschritten Detektion, Verarbeitung, Priorisierung sowie den Aufmerksamkeitsressourcen von zwei unterschiedlichen ABk aufzeigt. Eines der Anzeige-Konzepte stellt hierbei das die Fahrsicherheit nicht oder akzeptiert begrenzt beeinflussende Konzept dar (im Folgenden Benchmark-ABk genannt), das zweite Konzept das zu überprüfende (Test-ABk genannt). Um die Aussagekraft dieses relativen Vergleichs nicht zu verringern, sind folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

1. Das Benchmark-ABk darf nicht selbst gefährdende Inhalte besitzen, die die Fahrsicherheit um einen nicht akzeptierten Grad verringern.

2. Das Anzeige-Konzept des Test-ABk darf nicht grundverschieden<sup>1</sup> zu dem des Benchmark-ABk, da ein relativer Vergleich der Indikatoren sonst ggf. an Aussagekraft verliert.

Wird die erste Voraussetzung nicht eingehalten, besteht die Gefahr, dass diese gefährdenden Inhalte oder unterschiedliche Inhalte gleicher Gefährdungshöhe durch den relativen Vergleich auch bei dem Test-ABk zugelassen werden. Die zweite Voraussetzung ist bewusst weiter gefasst, da die Entscheidung, ob ein grundlegend neues Konzept vorliegt, meist nur vom Entwickler des Konzepts entschieden werden kann. Als Beispiel sei der Vergleich eines TFT-Displays mit einem head-mounted Display genannt. Es ist zu vermuten, dass bei einem solchen Konzeptwechsel, Blickabwendungszeiten etc. anders zu bewerten sind als zwischen zwei konventionellen Anzeigen.

Abschließend sei angemerkt, dass sich ein Motorradfahrer sowohl während der Fahrzeugführung durch Nebenaufgaben, als auch durch die Fahraufgabe jederzeit selbst überfordern kann. Hier kann kein Grenzwert den Fahrer schützen. Der Vergleich zweier Konzepte ermöglicht jedoch, das Konzept zu wählen, welches den Fahrer auf diesen vier Ebenen weniger beansprucht, sodass sich seine Reserven zur geistigen Verarbeitung erhöhen.

Es gilt auch zu beachten, dass hier kein summierter oder anderweitig zusammengefasster Gesamtwert über die zu findenden Indikatoren gefordert wird, da die Möglichkeit besteht, dass sich zwei Konzepte darin unterscheiden, dass ein Konzept A die Detektion minimiert, während ein Konzept B die Wahrnehmung vereinfacht. Eine Empfehlung für Konzept A oder B kann somit nicht eindeutig gegeben werden, da die Vorteile von Konzept A oder B je nach Fahrzustand, Fahrer, etc. für Konzept A oder B sprechen kann. Hier ist der Entwickler des Konzepts gefragt, abzuwägen, wo eine größere Gefährdung entstehen kann oder wo das Benchmark-ABk ggf. Defizite aufweist, die es zu optimieren gilt.

Entsprechend wird ein mehrdimensionaler relativer Vergleich zu beurteilender ABk zu einem Vergleichs-ABk mit bekanntem, akzeptiertem Gefährdungsgrad unter den oben genannten Voraussetzungen vorgeschlagen.

Bevor in Kapitel 5.1 ein Weg vorgestellt wird, Indikatoren zu finden, die es ermöglichen, diese vier Bewertungsdimensionen abzubilden, wird im folgenden Abschnitt auf die zu wählende Messumgebung eingegangen, welche Voraussetzung für eine valide Messung der Indikatoren ist.

## 5.2 Auswahl der Messumgebung: Dynamischer Motorrad-Fahrsimulator

Zur Auswahl einer Messumgebung wird in der Aufgabenstellung die Sicherheit des Probanden sowie die Reproduzierbarkeit der Umgebungsvariablen vorgegeben. Es stellt sich die Frage, welche Anforderung eine Messumgebung im Fall der ABk-Prüfung zu erfüllen hat, um valide Messwerte der zu wählenden Indikatoren sicherzustellen. Wie bereits erwähnt, besteht die Gefahr der ABk-Bedienung darin, dass hierdurch einer der vier Informationsverarbeitungsprozessschritte derartig überbeansprucht wird, dass der Fahrer nicht adäquat auf Gefahren reagieren kann.

---

<sup>1</sup>bezogen auf Verbauort und Anzeigetechnologie

Um den Einfluss der ABk-Bedienung messen zu können, ist es folglich notwendig, eine primäre Fahraufgabe zur Verfügung zu stellen, sodass diese von der ABk-Bedienung beeinflussbar ist. Hierfür gibt es verschiedene Möglichkeiten vom Vorspielen einer Videosequenz bis hin zur Realfahrt. Mit steigender Abbildungsgenauigkeit der Realität erhöht sich die Validität der über die Indikatoren gemessenen Messwerte - gleichzeitig steigt die Gefahr, dass eine Überforderung des Fahrers während der Messung negative Folgen mit sich bringt, wie das Beschädigen des Messfahrzeugs oder Verunfallen des Probanden.

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, besteht das Risiko bei einem ABk-Vergleich während einer Realfahrt auf dem Motorrad, dass der Proband verunfallt, sodass zugunsten der Sicherheit des Probanden für diese Untersuchungen ein Fahrsimulator genutzt wird. Dieser erfüllt sowohl die Forderung nach Reproduzierbarkeit als auch die der Probandensicherheit.

Offen bleibt die Frage, welche Anforderungen für valide Messergebnisse bestehen. Die Fahrsimulation stellt eine Reduzierung der realen Fahrsituation dar. Der Grad der Reduzierung variiert stark zwischen den Simulatorkonzepten, die ausschließlich Bild und Ton der Fahrszene wiedergeben bis hin zu Ausbaustufen, die in begrenztem Maße auch vestibuläre Anregung ermöglichen. Nach Ranney<sup>2</sup> besteht keine Reduzierung der Sensitivität für die in einem statischen Simulator gewonnenen Indikatoren im Bereich Längs- und Querführung sowie bei Daten gewonnen aus Eye-Tracking und Reaktionstests, wie dem Peripheral Detection Task<sup>3</sup>. Diese Aussage wird auch im Bereich Anforderungen an Fahrsimulatoren in den Richtlinien der NHTSA angegeben. Dass die Aussage, welche mithilfe des in der Studie von Ranney gewählten statischen Simulators nicht für alle Simulatoren gilt - auch nicht für PTW-Simulatoren - soll anhand eines Gedanken-Experiments gezeigt werden:

Es wird angenommen, dass zur Prüfung eines ABk die Testbedingung  $MGD < 2\text{ s}$  als Indikator gewählt wurde sowie eine maximale Blickabwendungszeit vom Straßenverkehr während der Ausführung der Nebenaufgabe wie folgt festgelegt wurde:  $EORT < 12\text{ s}$  (Grenzwerte wurden der NHTSA-Richtlinie entnommen). Beurteilt wird eine ABk-Funktion, für die ein Proband zur Lösung ohne Fahraufgabe  $t_{ges} = 5\text{ s}$  benötigt.

Nun werden zwei unterschiedliche Simulatorkonfigurationen angenommen:

1. Die Fahrdynamik des Simulators besitzt einen stabilen Geradeauslauf und vermittelt ein realitätsnahes Fahrgefühl
2. Die Fahrdynamik ist sehr sensitiv auf Fahrereingaben sowohl längs- als auch querdynamisch und vermittelt das Gefühl verunglücken zu können

Gedankenexperiment: Durch das Vermitteln von Sicherheit und Kontrollierbarkeit bedient der Proband das ABk mit Hilfe von Blicken, die durchschnittlich länger als zwei Sekunden andauern, sodass der erste Grenzwert überschritten wird. Die gleiche Versuchsdurchführung mit der zweiten Simulatorkonfiguration führt gegebenenfalls zu folgendem Ergebnis: Der Proband kann das Fahrzeug nur mit einer Vielzahl kleiner Korrekturen in seiner Solltrajektorie halten. Hierdurch verkürzt sich die durchschnittliche Dauer der Blicke auf das ABk deutlich, sodass der Kennwert MGD unter die kritische Grenze von zwei Sekunden sinkt. Der Indikator EORT wird sich hierdurch vermutlich verlängern, da die Informationsaufnahme während der Vielzahl kurzer Blicke weniger effizient ist. Da die Gesamtbediendauer ohne Fahraufgabe jedoch sehr kurz ist, ist es möglich, dass die EORT mit

<sup>2</sup>Ranney et al. (2009): Measuring Distraction....

<sup>3</sup>Miura (1986): Coping with situation demands....

Fahraufgabe auch mit den verkürzten Blickdauern noch unterhalb der Maximaldauer von zwölf Sekunden bleibt. Entsprechend wären beide Indikatoren innerhalb der Grenzwerte und somit würde das ABk mit der zweitgenannten Versuchskonfiguration als akzeptabel eingeschätzt werden, während es mit der erstgenannten Konfiguration verworfen werden würde.

Während dieses Beispiel im Bezug auf Pkw-Simulatoren vielleicht überspitzt klingt, ist dies für PTW-Simulatoren durchaus ein mögliches Szenario. PTW besitzen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich keine Eigenstabilität, sodass der Fahrer das Fahrzeug oder das in einer Simulation umgesetzte Einspur-Dynamikmodell aktiv stabilisieren muss. Je nach Abbildungsgenauigkeit dieser Instabilität kann es zu genau diesen zwei Konfigurationen kommen.

Das Gedankenexperiment zeigt, dass die Wahl der Indikatoren abhängig ist von der Messumgebung und ebenso, dass die Auswahl der Indikatoren Anforderungen an die Qualität der Messumgebung stellt.

Dieser argumentative Kreisschluss wird aufgelöst, indem sowohl ein iterativer Weiterentwicklungsprozess des Fahrsimulators bezüglich erlebter Realitätsnähe durchgeführt wird als auch bezüglich der Messbarkeit der Indikatoren. Das Resultat dieses Entwicklungsprozesses ist im Rahmen der gemeinsamen Versuchsbedingungen in Kapitel 6.4.2 dargestellt, um die Vorstellung der Studien zu vervollständigen. Die Bewertung der Simulatorqualität für die folgenden Versuche ist in Guth<sup>4</sup> zu finden.

### 5.3 Kriterien zur Auswahl von Indikatoren

Während die Verarbeitungsschritte Detektion und Ausführung direkt beobachtbar sind, finden die Prozessschritte Verarbeitung und Entscheidung rein kognitiv statt. Ebenso ist die Auslastung der Aufmerksamkeitsressourcen nicht direkt beobachtbar. Um die Prozessschritte sowie die Auslastung der Aufmerksamkeitsressourcen dennoch zu erfassen, muss ein Umweg über Indikatoren gegangen werden, welche am Probanden beobachtbar sind und Rückschlüsse auf die Prozessschritte zulassen.

Eine strukturelle Übersicht der Indikatoren ist im Grundlagenteil (Kap. 2.4) abgebildet.

Neben der Prüfung diverser Indikatoren sind in der Literatur Vorschläge zur Bewertung dieser Indikatoren für die Pkw-Fahrsimulation zu finden, siehe z.B. O'Donnell<sup>5</sup> und de Waard<sup>6</sup>. Diese Arbeit nutzt die folgenden im weiteren Verlauf begründeten Kriterien zur Auswahl:

1. Anforderungen an die Messumgebung
2. Einfluss auf die Fahraufgabe
3. Bandbreite / Zielbereich der Auswertung
4. Sensitivität
5. Validität

---

<sup>4</sup>Guth et al. (2015): Motion cueing algorithm....

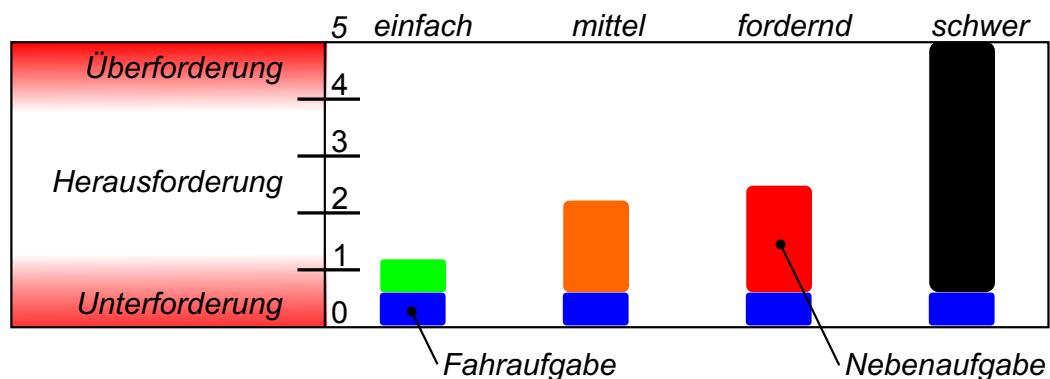
<sup>5</sup>O'Donnell/Eggemeier (1986): Workload....

<sup>6</sup>Waard (1996): The measurement... S. 27ff.

Das erste, praktisch orientierte Kriterium wurde bereits im vorigen Abschnitt angesprochen: Die Anforderungen des Indikators an die Messumgebung. Je höher die Anforderungen an eine realitätsnahe Messumgebung sind, desto höher sind mit großer Wahrscheinlichkeit Aufwand und/oder Kosten zur Umsetzung der Anforderungen.

Der zweite eher praktisch orientierte Indikator, entnommen aus de Waard<sup>31</sup> soll prüfen, ob die Erfassung des Indikators Einfluss auf die Fahraufgabe besitzt und falls ein Einfluss vorhanden ist, welcher Art dieser ist. Während konstante Einflüsse akzeptiert werden können, solange der Proband dadurch nicht in den Bereich Überforderung gelangt, sind variable Einflüsse, die zu einer Schwankung der Belastung des Probanden führen, nicht akzeptabel, da diese sich in den Messergebnissen widerspiegeln würden.

Bezogen auf die Aussagekraft des Indikators werden drei weitere Kriterien herangezogen. Das Kriterium des Zielbereichs der Auswertung, im Folgenden als Bandbreite bezeichnet, gibt an, unter welchen Randbedingungen Unterschiede zwischen den ABk-Ausprägungen messbar sind. Da die Vergleiche der Konzepte in einer kontrollierten Umgebung stattfinden, können einflussreiche Randbedingungen wie Verkehrsaufkommen, etc. weitgehend konstant gehalten werden. Diese konstanten Randbedingungen führen jedoch abhängig vom individuellen Zustand des Probanden zu unterschiedlichen Beanspruchungen. Somit wird die Beanspruchung des Probanden zur Beurteilung der Bandbreite eines Indikators herangezogen. Wie im Grundlagenteil (siehe Kap. 2.3.4) beschrieben, kann die Beanspruchung eines Menschen in die Bereiche Unterforderung, Herausforderung und Überforderung unterteilt werden. Es gilt deshalb zu prüfen, ob ein vorausgewählter Indikator über den gesamten Bereich Veränderungen aufzeigt.



**Abbildung 5.1:** Angestrebte Beanspruchungen zur Prüfung der Indikatoren; Beanspruchungsskala entspricht der RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung“

Die Beanspruchung während der Studienblöcke wird durch eine konstante Fahraufgabe mit einer parallel gestellten Nebenaufgabe hervorgerufen, wie in Abbildung 5.1 dargestellt. Für den ersten Studienblock werden vier Schwierigkeitsstufen (*einfach*, *mittel*, *fordernd*, *schwer*) gewählt, für den zweiten Studienblock ist die Anzahl auf drei Stufen festgelegt (*einfach*, *mittel*, *schwer*). Diese Schwierigkeitsstufen werden über eine Belastungsänderung durch die Nebenaufgabe eingestellt. Die Belastungen aus Fahr- und Nebenaufgabe werden so vorgewählt, dass die Schwierigkeitsstufe *einfach* den Übergang zwischen Unterforderung und Herausforderung darstellt. Die Stufe *schwer* ist im Bereich Überforderung angesetzt. Die Stufen *mittel* und *fordernd* zielen auf den Bereich Herausforderung ab. Um die Korrektheit der voreingestellten Schwierigkeitsstufen durch Variation der Nebenaufgabenbelastung zu prüfen, wird die Vorauswahl mit der erlebten Beanspruchung der Probanden verglichen.

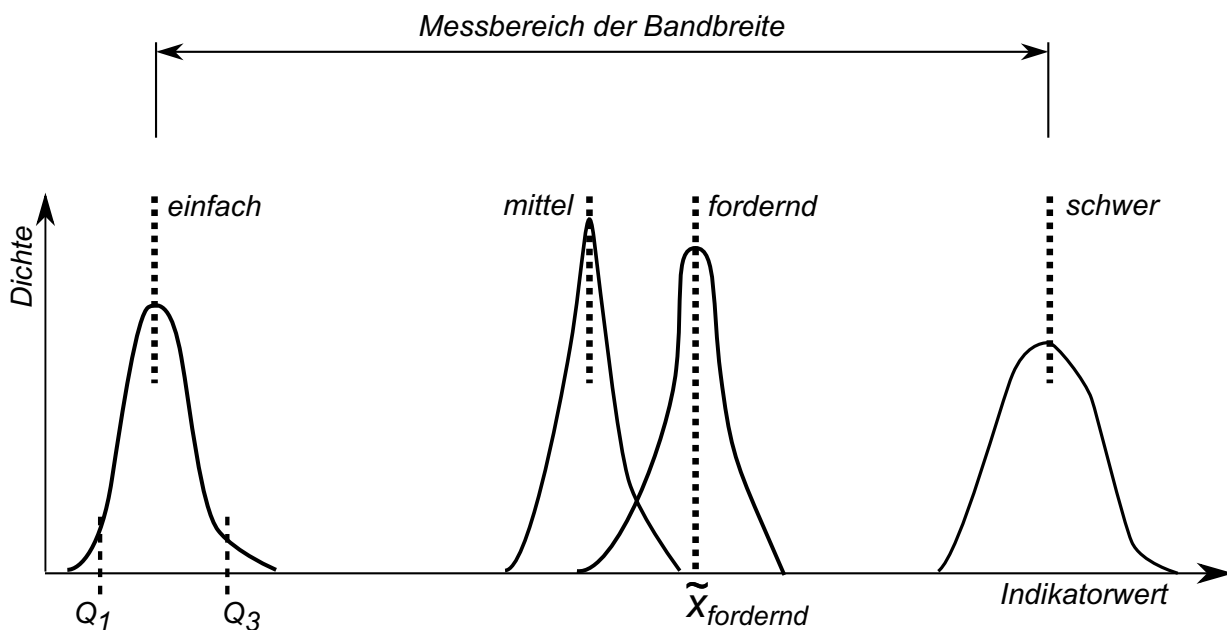
Zur Erfassung der erlebten Beanspruchung wird die RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung (Nr. 6) genutzt: Der Wert eins (Skalierung siehe Abb. 5.1) entspricht der Stufe *einfach*, der Wert Maximalwert fünf der Schwierigkeitsstufe *schwer*. Zusätzlich ist zu prüfen, ob die Ergebnisse der gestellten Nebenaufgabe (Anzahl erfolgreich durchgeführter Nebenaufgaben) in der Stufe *einfach* am höchsten und in der Stufe *schwer* am niedrigsten sind. Ist dies gegeben, können Belastungen und Beanspruchungen für diesen Messbereich gleichgesetzt werden.

Die Bandbreite eines Indikators ist umso höher, je mehr Schwierigkeitsstufen und somit Beanspruchungsstufen differenzierbar sind. Dies ist durch den Beweis signifikanter Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen feststellbar.

Der Bereich der Unterforderung wird hierbei nicht geprüft, da zum einen eine zusätzliche Belastung durch eine ABk-Bedienung nicht zu einer stärkeren Unterforderung führen kann und außerdem ein Motorradfahrer bestrebt ist, eine Beanspruchung mindestens im Herausforderungsbereich oder im Übergangsbereich zwischen Herausforderung und Überforderung zu erreichen, um ein Flow-Gefühl zu erleben<sup>7</sup>.

Da es das Ziel der Messmethode ist, ABk bezüglich ihres Einflusses auf die Fahrsicherheit unterscheiden zu können, stellt das Kriterium *Sensitivität* das wichtigste Kriterium dar. Ein Indikator wird als hoch sensitiv eingestuft, wenn kleinste Änderungen des Einflusses auf die zu beobachtende Dimension feststellbar sind.

Abbildung 5.2 zeigt beispielhaft mögliche Messwertverteilungen eines Indikators bei den vier Schwierigkeitsstufen *einfach* bis *schwer*. Die Mediane aller Messungen sowie das erste und dritte Quartil ( $Q_1$  und  $Q_3$ ) für die Messung der Stufe *einfach* sind durch gestrichelte Linien in der Abbildung markiert.



**Abbildung 5.2:** Darstellung eines Indikators mit hoher Sensitivität und Bandbreite

Es ist zu erkennen, dass die Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* Unterschiede der Mediane aufweisen. Somit ist die angestrebte Bandbreite von leichter Herausforderung bis Überforderung gegeben. Der Messbereich der Bandbreite  $\Delta MB$  gibt den Wertebereich des

<sup>7</sup>Rheinberg (2000): Immer im Flow....

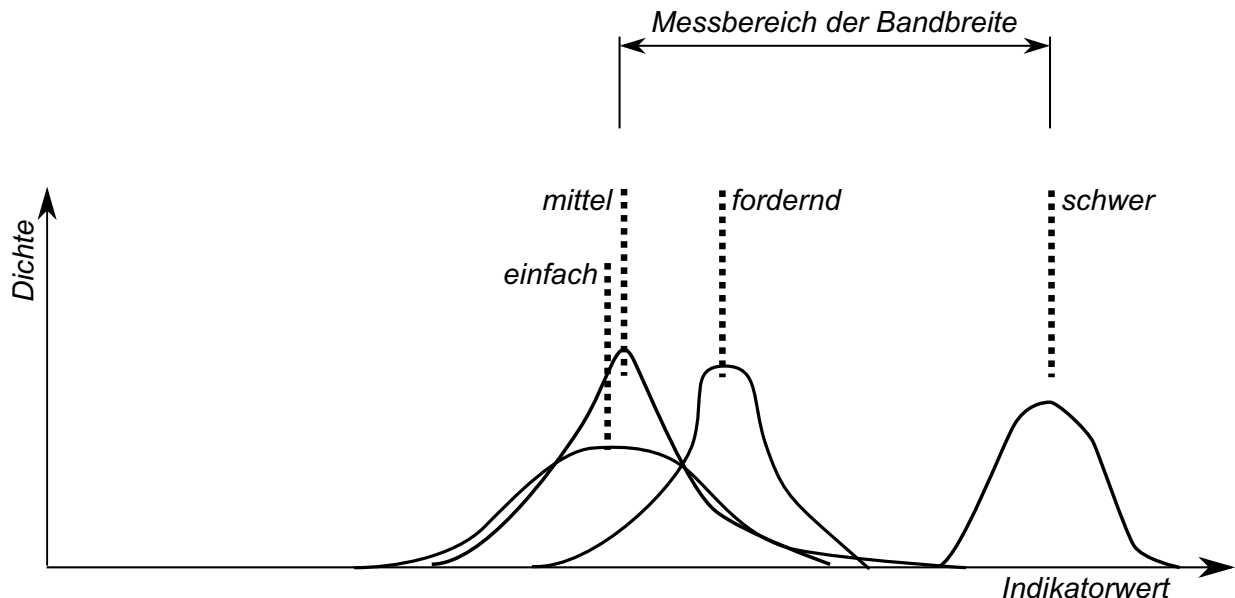


Indikators innerhalb der Bandbreite an und definiert sich somit nach Gleichung 5.1 aus der Differenz der Mediane der Schwierigkeitsstufen *schwer* und *einfach*.

$$\Delta MB = \tilde{x}_{schwer} - \tilde{x}_{leicht} \quad (5.1)$$

Als Maß für die Streuung des Indikators je Schwierigkeitsgrad wird der Interquartilsabstand (*IQR*) herangezogen. Je mehr differenzierbare Belastungsänderungen innerhalb des Wertebereichs der Bandbreite feststellbar sind, desto exakter kann zwischen Belastungsänderungen unterschieden werden. Die Unterscheidbarkeit zwischen zwei Messungen ist maßgeblich von der Streuung der Signale abhängig. Mit sinkendem Interquartilsabstand können innerhalb eines gegebenen Messbereichs mehr Unterscheidungen getroffen werden.

Die zweite Abbildung zeigt ebenfalls vier Messwertverteilungen eines Indikators, wobei die Messungen der Schwierigkeitsstufen *einfach* und *mittel* keine signifikanten Unterschiede zeigen. Somit ist die Bandbreite für diesen Indikator auf die Beanspruchungsstufen *mittel* bis *schwer* begrenzt, der Messbereich der Bandbreite auf die Differenz der Mediane der Stufen *schwer* und *mittel*.



**Abbildung 5.3:** Darstellung eines Indikators mit geringer Sensitivität und Bandbreite

Bei Annahme gleicher Skalierungen der beiden Indikatoren ist der Messbereich der Bandbreite im zweiten Beispiel geringer. Wie in der Abbildung 5.3 dargestellt, besitzen die Messungen größere Streuungen als im ersten Beispiel, was sich in größeren Interquartilsabständen zeigt.

Als weiterer Punkt zur Bewertung der Indikatoren sei die *Validität* genannt. Da die vier zu beobachtenden Dimensionen Interdependenzen aufweisen, ist sicher zu stellen, dass der gewünschte Prozessschritt zur visuellen Informationsverarbeitung gemessen wird und nicht ein Prozessschritt vor oder nach diesem. Deshalb erfolgt innerhalb jedes Kapitels zur Findung von Indikatoren eine Prüfung, ob die in den restlichen Kapiteln ausgewählten Indikatoren ausschließlich die erwarteten Änderungen für die Belastungsänderung in diesem Prozessschritt aufweisen.

## 5.4 Zwischenfazit

Innerhalb dieses Kapitels wurde gezeigt, dass durch die starken Schwankungen der Belastungen auf den Motorradfahrer und den daraus resultierenden Beanspruchungsschwankungen eine vergleichende Beurteilung von zwei Anzeigekonzepten der Bewertung eines Konzeptes durch Absolutwerte vorzuziehen ist. Die Beanspruchung kann derart ansteigen, dass der Fahrer bereits ohne Nebenaufgabe am Rande zur Überforderung steht. Wann sich ein Motorradfahrer durch zusätzliche Aufgaben stärker belastet, sodass er in den Bereich der Überforderung gelangt, kann deshalb nicht durch Richtlinien verhindert werden.

Als Messumgebung zum Vergleich von zwei Konzepten wird ein Motorrad-Fahrsimulator gewählt, da dieser eine reproduzierbare, sichere Testumgebung bietet.

Zur Findung von Indikatoren, um diesen relativen Vergleich zu ermöglichen, werden zwei Schritte vorgeschlagen. Eine erste Vorauswahl potentieller Indikatoren soll anhand der Anforderungen der Indikatoren an die Messumgebung erfolgen. Die Anforderungen der Testumgebung und der Indikatoren definieren sich gegenseitig, wie das dargestellte Gedankenexperiment gezeigt hat. Führt man diesen Gedanken weiter, sollten künftigen Richtlinien als Voraussetzung für valide Messergebnisse Anforderungen an die Testumgebung hinzugefügt werden. Hierbei sei auch eine mögliche Beeinflussung des physischen Zustands der Probanden durch die Simulatorkrankheit genannt. Ein Proband, der beispielsweise Übelkeit verspürt, wird Nebenaufgaben, die dies weiter fördern, anders durchführen als ein unbeeinflusster Proband.

Zum Abschluss des Kapitels wird eine experimentelle Beurteilung der vorausgewählten Indikatoren mittels Probandenstudien zur Bewertung der Indikatoren bezüglich der Bandbreite, der Sensitivität, der Validität sowie deren Einfluss auf die Fahraufgabe vorgeschlagen.

Es folgt der Auswahlprozess der Indikatoren.

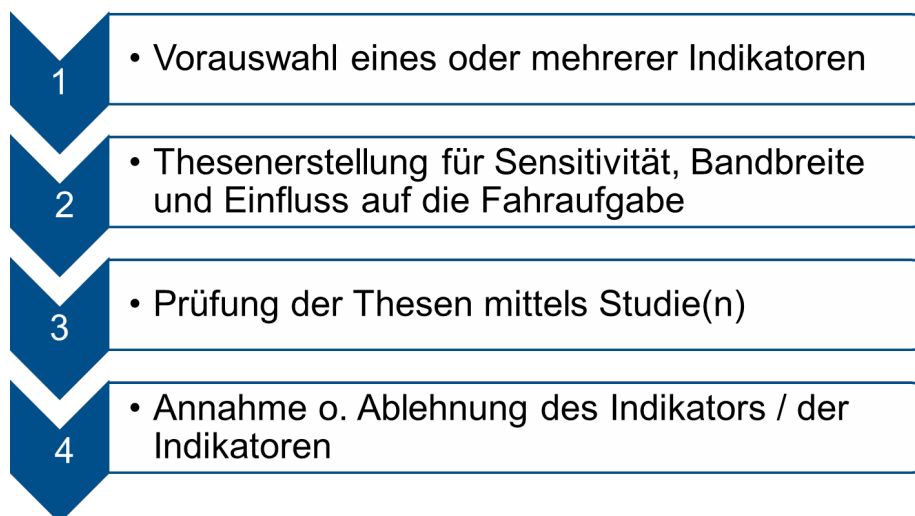
---

## 6 Vorgehen zur Indikatorensuche

Die folgenden Kapitel zeigen das Vorgehen zur Suche der Indikatoren sowie die daran anschließende Indikatorensuche zur Beobachtung von Veränderungen der Fahrsicherheit durch Anzeige- und Bedienkonzepte. Die Indikatoren werden nach der Reihenfolge der menschlichen Signalverarbeitung von Detektion bis Ausführung vorgestellt. Den Abschluss bildet der Indikator zur Beobachtung der Aufmerksamkeitsressourcen. Nach der Nennung des Indikators enthält jeder Abschnitt eine Beschreibung des erwarteten Signalverlaufs, den erwarteten Einfluss auf die Fahraufgabe, die notwendigen Voraussetzungen zur Messung valider Ergebnisse sowie eine Zuordnung des jeweiligen Indikators zu einem Prozessschritt.

### 6.1 Vorgehen zur Auswahl der Indikatoren

Das Vorgehen zur Auswahl der Indikatoren ist in dem Flussdiagramm in Abbildung 6.1 dargestellt.



**Abbildung 6.1:** Vorgehen zur Auswahl der Indikatoren dargestellt in einem Flussdiagramm

Alle Indikatoren aus dem Pkw-Sektor auch für PTW zu bewerten, wäre aus Gründen der Effizienz nicht zielführend. Deshalb wurde für jeden Verarbeitungsprozess eine Vorauswahl getroffen. Diese Vorauswahl basiert auf dem ersten genannten Bewertungskriterium, der Anforderung an die Testumgebung. Denn kann die vorhandene Testumgebung die Anforderung nicht ohne aufwändige Anpassung erfüllen, ist eine tiefergehende Bewertung des Indikators im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Entsprechend der Vorauswahl sind die im späteren Verlauf beschriebenen Indikatoren als eine Möglichkeit zu sehen, den Verarbeitungsprozess zu beobachten.

Eine Auflistung, welche Indikatoren auf welcher Grundlage vorausgewählt werden, ist in Kapitel 6.2 zu finden.

Nach der Vorauswahl erfolgt das Aufstellen von Hypothesen, die annehmen, dass der oder die Indikatoren für die jeweilige Dimension die gewünschte Bandbreite sowie Sensitivität erreichen.

Diese Hypothesen werden mittels Probandenstudien in den Kapiteln 7 bis 10 geprüft. Um Mehrfachnennungen der Versuchsbedingungen zu vermeiden, sind Gemeinsamkeiten der Studien in Kapitel 6.4 für alle Studien zusammengefasst. Während der Studien werden eine Simulatorfahrt zur Reproduktion der Belastung durch die primäre Fahraufgabe sowie eine Zusatzbelastung des jeweiligen Verarbeitungsprozesses vorgesehen. Die Zusatzbelastung bzw. Nebenaufgabe ist hierbei so gewählt, dass die Belastung über die zu untersuchende Bandbreite einstellbar ist. Mittels Analyse der Indikator-Ergebnisse erfolgt die Verifizierung oder Falsifizierung der aufgestellten Hypothesen. Erfüllt der Indikator alle Kriterien, die über die Hypothesen beschrieben werden, wird der Indikator zur Beurteilung angenommen.

In einem letzten Schritt wird die Anwendbarkeit der gefundenen Indikatoren anhand einer weiteren Studie gezeigt, siehe Kapitel 11.2. Hierbei werden drei Anzeige-Konzepte anhand der gewählten Indikatoren verglichen.

## 6.2 Vorauswahl der Indikatoren

Da mittlerweile eine Vielzahl von Indikatoren zur menschlichen Beanspruchungsmessung bekannt sind (siehe Kapitel 2.4) und diese zum Teil unterschiedliche Teilaspekte der Beanspruchung wiedergeben, ist im Folgenden dargestellt, welche Indikatoren und warum diese für die genannten Studien gewählt wurden. Hauptkriterium zur Vorauswahl stellt der erste aufgeführte Punkt zur Bewertung der Indikatoren dar: Anforderungen an die Messumgebung. Können diese Anforderungen durch die hier genutzte Messumgebung nicht erfüllt werden, ist eine weitere Untersuchung nicht möglich.

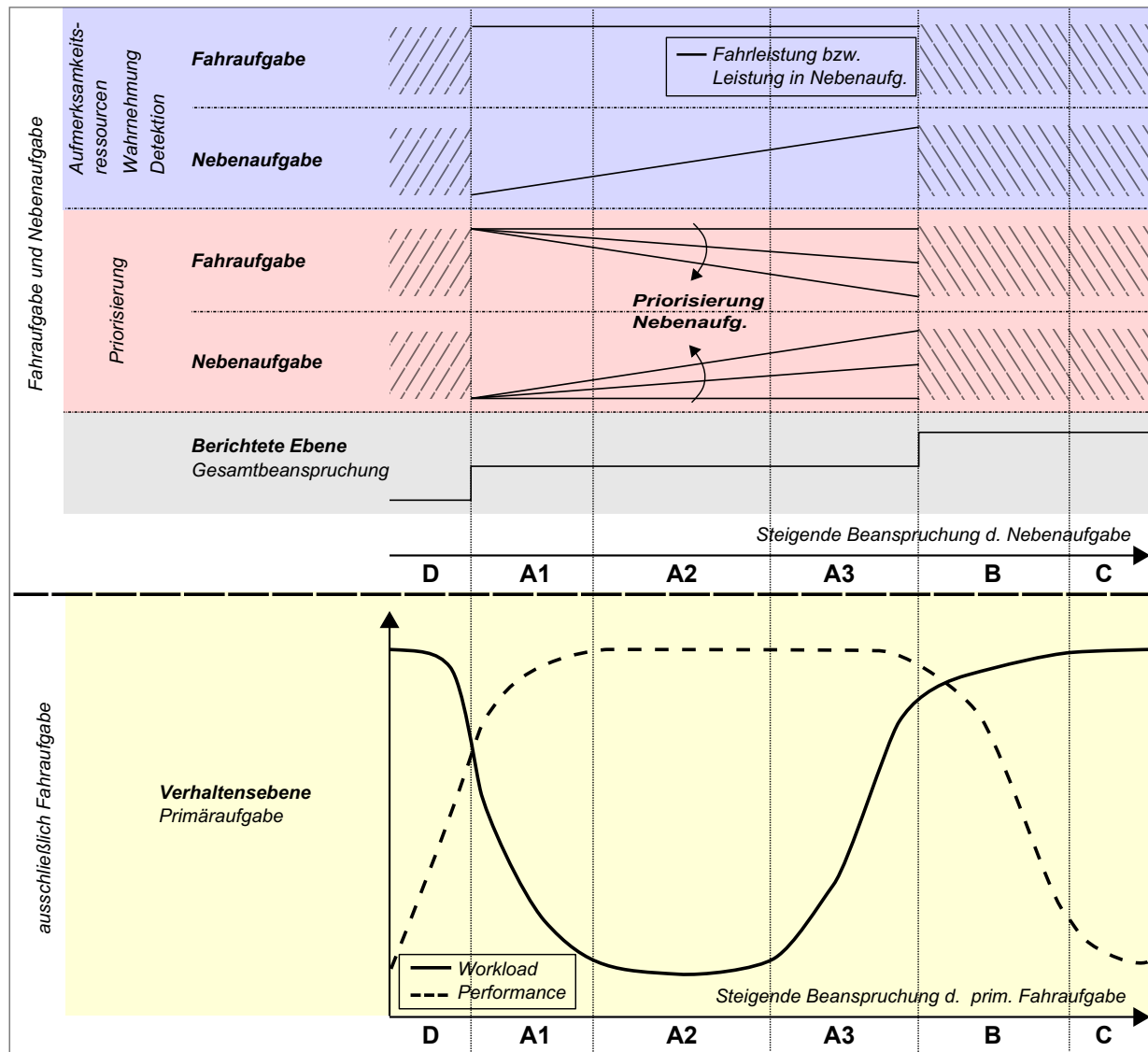
Ziel der Studien ist es, für jeden menschlichen Verarbeitungsschritt mindestens einen Indikator zu finden, sodass alle Schritte beobachtbar sind. Um den Suchraum der Indikatoren weiter einzuschränken, wird im Folgenden der Messbereich im Bezug auf die Probandenbeanspruchung eingegrenzt. Liegt nur die Grundbeanspruchung durch die Fahraufgabe vor, kann die Fahrleistung abhängig von der situativen Beanspruchung wie in Abbildung 6.2 unten (Bereich: ausschließlich Fahraufgabe) dargestellt werden. Solange die Fahraufgabe über der Unterforderung (Bereich D) und unter der Überforderung (Bereiche B und C) liegt, kann der Fahrer durch freie Aufmerksamkeitsressourcen eine Steigerung der Belastung durch die Fahraufgabe kompensieren, sodass immer die maximale Fahrleistung erreicht wird.

Der Bereich der Unterforderung ist während der Versuche aus bereits genannten Gründen nicht anzustreben. Da der Proband zur Kompensation seiner freien geistigen Kapazitäten dazu tendieren wird, sich selbst stärker zu beanspruchen, hätte dies ggf. auch nicht vorhersehbare Einflüsse auf die Indikatormessergebnisse.

Im Bereich der Herausforderung, Bereiche A1 bis A3 in Abbildung 6.2, wird nach Wickens<sup>1</sup> erwartet, dass die Leistung der Fahraufgabe konstant bleibt, unabhängig von der Steigerung der Belastung durch die Nebenaufgabe, solange die Belastungen nicht den Prozessschritt der Priorisierung beeinflussen. Die Leistung in der Nebenaufgabe steigt mit zunehmender Belastung im Bereich Herausforderung.

---

<sup>1</sup>Wickens/Hollands (1999): Engineering psychology... S. 346ff.



**Abbildung 6.2:** Tendenzen der ausgewählten Indikatoren bei steigender Beanspruchung durch die Nebenaufgabe, dargestellt im Vergleich zur Fahrleistung bei steigender Beanspruchung durch die Fahraufgabe

Beeinflusst die Nebenaufgabe den Prozessschritt der Priorisierung, sinkt die Fahrleistung mit steigender Priorisierung der Nebenaufgabe. Gleichzeitig steigt die Leistung in der Nebenaufgabe.

Neben dem Bereich der Unterforderung stellt der Bereich der Überforderung einen kritischen Bereich dar. Der Vorteil, in diesem Bereich zu messen, besteht darin, dass eine Steigerung der Nebenaufgabenschwierigkeit dazu führen kann, dass die Indikatoren der Verhaltensebene aussagekräftig werden. Dies ist über drei mögliche Verhaltensarten erkennbar, wobei die letzte eine Kombination aus den ersten beiden Verhaltensarten darstellt:

- Höhere Priorisierung der Nebenaufgabe gegenüber der Fahraufgabe: Die Fahrleistung sinkt, die Qualität der Nebenaufgabenausführung bleibt konstant.
- Höhere Priorisierung der Fahraufgabe gegenüber der Nebenaufgabe: Die Qualität der

Nebenaufgabenausführung sinkt, die Fahrleistung bleibt konstant.

- Wechselnde Priorisierung zwischen Fahr- und Nebenaufgabe: Die Fahrleistung als auch die Qualität der Nebenaufgabenausführung sinken.

Es überwiegen die Nachteile für Vergleiche ausschließlich in diesem Beanspruchungsbereich: Zum einen ermüden Probanden in diesem Bereich schnell, sodass Einbußen in der Reliabilität in Kauf genommen werden müssen oder eine hohe Anzahl Probanden von Nöten ist. Durch die drei oben aufgelisteten möglichen Verhaltensweisen im Bereich Überforderung ist eine höhere Anzahl an Indikatoren nötig, um das Erreichen dieses Zustands zu detektieren. Dies bedeutet neben erhöhtem Aufwand, eine Zunahme an potentiellen Messfehlern.

Folglich wird für die gewünschte Bandbreite der zu findenden Indikatoren der Bereich der Herausforderung (Bereiche A1 bis A3) angestrebt.

Innerhalb dieser Bandbreite wird beurteilt, ob die Anforderungen der Indikatoren bzw. Indikatorengruppen, wie in Kapitel 2.4 dargestellt, tiefer gehend untersucht werden.

### 6.2.1 Vorauswahl im Bereich der physiologischen Ebene

Die Indikatoren der physiologischen Ebene sind im Grundlagenteil nach Organen in Untergruppen aufgeteilt (siehe Kap. 2.4.3). Entsprechend dieser Untergliederung wird im Folgenden die Vorauswahl strukturiert.

Indikatoren aus dem Bereich Herz-Kreislauf-System wurden bereits in einem Bericht der Bundesanstalt für Straßenwesen<sup>2</sup> untersucht. Als problematisch wurde hier die zusätzliche ausgeprägte Kopplung dieser Indikatorengruppe mit der physischen Beanspruchung des Probanden beurteilt. Dass das Motorradfahren eine stärkere physische Belastung darstellt als das Führen eines Pkw, wurde bereits vorgestellt. Somit werden die Indikatoren des Herz-Kreislauf-Systems im Laufe der Arbeit nicht untersucht.

Indikatoren aus den Bereichen der Muskelaktivität sowie des Hautleitwerts werden aktuell in einer parallel bearbeiteten wissenschaftlichen Arbeit in enger Abstimmung mit dieser Forschungsarbeit geprüft, sodass dieser Bereich hier nicht beleuchtet wird.

Zur Messung der Hormonpegel ist es aktuell notwendig, Urin- oder Blutproben zu entnehmen. Neben hohem Aufwand durch Laborausstattung und medizinisch geschultem Personal erfolgen diese Messungen nicht kontinuierlich, sodass die Beanspruchungen nur im Anschluss als integrierter Wert oder Durchschnittswert über der Beanspruchung angesehen werden kann. Es müssten Proben nach jedem Teilversuch genommen werden, was mit hohem Aufwand und ggf. geringer Akzeptanz der Probanden verbunden wäre, sodass diese Indikatoren verworfen werden.

Der Bereich Eye-Tracking findet breite Anwendung in verschiedensten Anwendungsgebieten von der Sportwissenschaft bis zu Marketing-Analysen oder der Fahrerverhaltensforschung. Die Anwendung für den Bereich Motorradfahrt und Motorrad-Fahrsimulation ist jedoch nicht ohne Anpassungen möglich. Kopfgetragene Systeme, die meist wie eine Brille gestaltet sind, in Kombination mit einem Motorradhelm führen bei Helmbewegungen dazu, dass das Tracking-System verrutscht. Hierdurch geht die Kalibrierung der Brille verloren, sodass die aufgezeichneten Daten unbrauchbar werden. Eine Alternative stellen sogenannte Remote-Systeme dar, die die Augen des Fahrers von einer fixierten Position

---

<sup>2</sup>Buld et al. (2014): Entwicklung eines Verfahrens...

betrachten. Hier besteht die Problematik, dass das Tragen eines Helms den Erfassungsbereich der Kameras zur Detektion der Augen einschränkt. Mehrere Kameras auf einer Höhe nahe dem Verkehrsgeschehen wären notwendig, um die Augen konstant verfolgen zu können. Im Rahmen studentischer Arbeiten<sup>3,4</sup> wurde ein Eye-Tracking-System entwickelt (siehe Kap. 2.4.3), das unter einem Motorradhelm tragbar und dabei so mit dem Kopf des Probanden verbunden ist, dass Relativbewegungen zwischen Helm und Brille ermöglicht werden. Somit ist das System auch unter einem Helm einsetzbar, sodass diese Messmethode ausgiebig untersucht wird. Die vorausgewählten Indikatoren bzgl. Gaze-Tracking sind im Folgenden beschrieben.

## Eye-Off-Road-Time und Attention-Ratio

Der Indikator Eye-Off-Road-Time (EORT) gibt an, wie lang ein Proband während der Bearbeitung einer Nebenaufgabe nicht den Verkehr beobachtet. Dividiert man diesen Indikator durch die Messdauer, erhält man den Indikator Attention-Ratio für die AOI um die Nebenaufgabe. Hierbei wird vorausgesetzt, dass der Proband den Fokus ausschließlich zwischen dem Verkehr und der Nebenaufgabe wechselt.

Eine Steigerung der Belastung im Prozessschritt Detektion entspricht einer steigenden Betrachtungsdauer des Anzeigeelements. Für die Versuche wird deshalb angenommen, dass die Indikatoren EORT und Attention-Ratio, wie in Abbildung 6.2 im Bereich der Detektion dargestellt, mit steigender Beanspruchung des Prozessschritts Detektion durch die Nebenaufgabe ansteigen. Da die Beanspruchung im Bereich der Herausforderung durchgeführt wird, ist davon auszugehen, dass stets genügend Aufmerksamkeitsressourcen zur Verfügung stehen, um die Leistung der Primäraufgabe konstant maximal zu halten, was in der Abbildung im Bereich der Detektion unter der Primäraufgabe illustriert ist.

Eine Bedingung zur Gültigkeit dieser Indikatoren stellt eine ausreichende Erkennungsqualität des Fokuspunktes dar. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung muss hoch genug sein, sodass jeder Blick eindeutig einer Area of Interest zugeordnet werden kann. Reflexionen auf der Pupille, das Tragen von Kontaktlinsen, Bewegungsunschärfe der Kameras, etc. stellen mögliche Fehlerquellen dar, die die Erkennungsqualität senken können.

Da dieser Indikator ausschließlich bewertet, wo der aktuelle Blick hin gerichtet ist, wird dieser Indikator dem Prozessschritt der Detektion zugeschrieben.

## Mean-Glance-Duration

Dieser Indikator findet, wie der Indikator EORT, in aktuellen Richtlinien Anwendung und gibt die durchschnittliche Blickdauer auf das Anzeigekonzept an.

Dass der Indikator Mean-Glance-Duration auf den optischen Verarbeitungsprozess rückschließen lässt, hat unter anderem Irwin<sup>5</sup> gezeigt und beruht auf der Annahme, dass der Proband, solange er eine visuelle Information noch nicht vollständig verarbeitet hat, diese weiterhin betrachtet. Somit zeigt die Blickdauer auf ein visuelles Objekt unter bestimmten Voraussetzungen die Erkennungs- oder Verarbeitungsdauer der visuellen Information. Folglich wird erwartet, dass bei einem Anstieg der Beanspruchung im Bereich der Verarbeitung durch die Nebenaufgabe der Indikator Mean-Glance-Duration ansteigt. Gleichzeitig wird

---

<sup>3</sup>Buschle (2014b): Konstruktion des Grundgestells....

<sup>4</sup>Buschle (2014a): Integration eines Eyetracking-Systems....

<sup>5</sup>Irwin (2004): Fixation Location....

damit gerechnet, dass die Leistung der Primäraufgabe durch stets ausreichende Priorisierung und genügend zur Verfügung stehende Aufmerksamkeitsressourcen konstant auf dem Maximum bleibt. Dies ist in der Abbildung 6.2 im Bereich der Wahrnehmung dargestellt.

Neben der bereits geforderten ausreichenden Tracking-Qualität, jeden Blick einer AOI zuordnen zu können, besteht die Forderung, dass nicht mehrere Informationen nacheinander am gleichen Ort angezeigt werden. Hierdurch würde eine gemessene Blickdauer die Verarbeitungsschritte mehrerer Informationen repräsentieren. Dies ist in den Versuchsbedingungen berücksichtigt, indem eine hohe Priorisierung der Fahraufgabe durch eine realitätsnahe Simulation bereitgestellt wird. Solange der Proband die Fahraufgabe priorisiert und somit der Blick regelmäßig zwischen der optischen Nebenaufgabe und dem Verkehr wechselt, kann dies als gegeben angenommen werden.

### Mittlere Pupillenfläche, gesamte Flächenänderung und aufgabenbedingte Flächenänderung

Diese Indikatoren geben die durchschnittliche Pupillenfläche, die Pupillenflächenänderung bezogen auf eine Baseline-Fahrt und bezogen auf einen unbelasteten Probanden im Stillstand an. Aus der Literatur ist bekannt<sup>6</sup>, dass die Pupillengröße von Probanden sensitiv auf die geistige Beanspruchung reagiert: Je stärker der Proband beansprucht wird, desto größer wird die Pupille. Entsprechend den dargestellten Verläufen in Abbildung 6.2 wird deshalb erwartet, dass die Indikatoren mit steigender Beanspruchung ansteigen. Bei ausreichender Priorisierung der Nebenaufgabe wird erwartet, dass die Fahrleistung dabei im Bereich der Herausforderung konstant bleibt.

Bei der Messung der Pupillenfläche sind mehrere Randbedingungen zu beachten: Die Versuchsumgebung sollte mit einer möglichst konstanten Lichtintensität ausgeleuchtet sein, da neben der Beanspruchung die Lichtstärke, welche auf das Auge wirkt, starken Einfluss auf die Pupillengröße besitzt.

Dieser Indikator wird dem Bereich *Aufmerksamkeitsressourcen* zugeordnet.

Des Weiteren ist der Indikator Percentage of Eye Closure, kurz PerClos, aufgelistet. Dieser Indikator wird der Beobachtung von Müdigkeit<sup>7</sup> zugeschrieben, sodass er nicht Teil der Untersuchungen ist.

#### 6.2.2 Vorauswahl im Bereich Berichtete Ebene

Die Berichtete Ebene ist in zwei Subkategorien nach der Dimension der Ergebnisse unterteilt: eindimensional und mehrdimensional. Da im Rahmen dieser Arbeit die menschlichen Signalverarbeitungsschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen einzeln beobachtet werden sollen, werden eindimensionale Indikatoren, welche als Zusammenfassung der Teilschritte zu sehen sind, nicht berücksichtigt.

### Modifizierter RALI-Fragebogen

Im Bereich der mehrdimensionalen Indikatoren ist eine Vielzahl von Fragebögen bekannt. Am vielversprechendsten wird der Fragebogen Rider Activity Load Index angesehen, der

---

<sup>6</sup>Kahneman/Beatty (1966): Pupil Diameter...; Beatty (1982): Task-Evoked Pupillary Responses...; Hess: Pupillometrics.

<sup>7</sup>Ftouni et al. (2013): Temporal dynamics....



auf den viel angewendeten Fragebögen NASA Task Load Index<sup>8</sup> sowie Driver Activity Load Index<sup>9</sup> aufbaut und speziell für den Anwendungsfall der Ablenkungsmessung durch Nebenaufgaben beim Führen eines PTW hin optimiert wurde. Deshalb wird dieser Fragebogen vorausgewählt. Die Anforderungen an die Versuchsumgebung sind minimal, da ausschließlich der Fragebogen zur Verfügung stehen muss.

Die erwartete Abhängigkeit der einzelnen Dimensionen zu den zu beobachtenden Prozessschritten ist in Tabelle 6.1 zu sehen und im weiteren Verlauf begründet. Der RALI-Fragebogen ist insofern angepasst, dass die ursprünglichen Fragen zur visuellen und auditiven Anforderung der Nebenaufgabe zu einer Frage zusammengefasst sind. Je nachdem ob die Nebenaufgabe visueller oder auditiver Natur ist, wird die Frage entsprechend formuliert. Als neue zweite Frage wird danach gefragt, wie stark der Fahrer die Fahraufgabe trotz gleichzeitiger Durchführung der Nebenaufgabe priorisiert hat.

Nr.	Dimensionen	Zuordnung zu Prozessschritt
1	Visuelle / Auditive Anforderung	Verarbeitung
2	Priorisierung der Fahraufgabe	Priorisierung
3	Zeitliche Anforderung	Detektion
4	Systeminterferenz	Priorisierung
5	Benötigte Aufmerksamkeit	Aufmerksamkeitsressourcen für Nebenaufgabe
6	Beanspruchung insgesamt	Berichtete Beanspruchung
7	Situationsbedingter Stress	- (Überforderung)
8	Negative Emotionen	- (Überforderung)

**Tabelle 6.1:** Zuordnung der Dimensionen des modifizierten Rider Activity Load Index' zu den Prozessschritten

Der RALI enthält die Frage (siehe Kap. 2.4) nach der Beanspruchung durch die Fahrsituation. Da für die Studie neben der Fahrsituation zusätzlich eine Nebenaufgabe gestellt wird, wurde diese Frage so angepasst, dass sie nach der Beanspruchung durch die Gesamtsituation, also Fahr- und Nebenaufgabe fragt. Befindet sich die Beanspruchung beim Maximalwert, befindet sich der Proband im Bereich der Überforderung - bei der Wahl des Minimalwerts im Bereich der Unterforderung.

Nach O'Donnell<sup>10</sup> sind Indikatoren der Berichteten Ebene zur Beschreibung der Aufmerksamkeitsressourcen nicht sensitiv innerhalb der Bereiche Unterforderung bis Überforderung, jedoch kann der Mensch subjektiv die Übergänge zwischen Herausforderung und Unterforderung sowie Herausforderung und Überforderung erkennen und somit berichten. Im oberen Bereich der Abbildung 6.2 ist die Erkennung der Übergangsbereiche zwischen Unter-, Heraus- und Überforderung im letzten Teildiagramm (Berichtete Ebene) zum Vergleich der Messbereiche mit den weiteren Indikatoren durch Sprünge im Indikatorverlauf an den Übergangsstellen zwischen den Beanspruchungsstufen dargestellt. Zur Überprüfung, ob der Proband auch für Untersuchungen im PTW-Sektor ausschließlich zwischen den drei

<sup>8</sup>Sepehr (1988): NASA Task Load Index....

<sup>9</sup>Pauzié (2008): A method to assess....

<sup>10</sup>O'Donnell/Eggemeier (1986): Workload....

Beanspruchungsstufen unterscheiden kann, wird im Rahmen der Versuche die Erwartung gestellt, dass die Ergebnisse der Fragen mit zunehmender Beanspruchung des jeweils zugeordneten Prozessschritts ansteigen, abgesehen von den Fragen sieben und acht. Hier wird davon ausgegangen, wie im weiteren Verlauf erklärt ist, dass diese auf dem Minimum bleiben, bis der Proband den Bereich der Überforderung erreicht.

Während die Indikatoren aus dem Bereich Herz-Kreislauf-System verworfen wurden, weil sie nicht zwischen physischem und psychischem Workload unterscheiden können, wird der RALI-Fragebogen durch Indikatoren aus dem Bereich der Verhaltensebene abgesichert, wie im weiteren Verlauf erklärt wird. In den Studien eins bis vier wurden außerdem Fahraufgaben gewählt, die keine hohe körperliche Beanspruchung hervorrufen.

**RALI-Frage Nr.1:** Die Dimension der visuellen bzw. auditiven Anforderung wird dem Prozessschritt der Wahrnehmung zugeordnet. Es wird hier die Hypothese aufgestellt, dass der Proband den Blickwechsel bzw. die Aufnahme der akustischen Signale selbst nicht als Anforderung und eine daraus resultierende Beanspruchung ansieht, sondern einen erschwerten Erkennungsprozess. Dies wird im Rahmen der Studien eins und zwei geprüft.

**RALI-Frage Nr.2:** Diese Frage wurde eingeführt, um zu prüfen, ob ein Proband bewusst den Priorisierungsprozess wahrnimmt und ihn bewerten kann. Hierzu erfolgt eine Überprüfung, ob der Verlauf der Antworten die in der dritten Studie variierten Priorisierungen zwischen Fahr- und Nebenaufgabe abbildet.

**RALI-Frage Nr.3:** Durch die Frage über die zeitliche Anforderung der Nebenaufgabe bewertet der Proband, wie viel Zeit er mit der Nebenaufgabe in Relation zur Durchführung der Fahraufgabe benötigt hat. Da die gewählten Nebenaufgaben ausschließlich über visuelle Reize beanspruchen, bewertet der Proband entsprechen die Dauer, wie lang die Blicke auf die Nebenaufgabe verweilen. Für die Dimension der zeitlichen Anforderung der Nebenaufgabe wird deshalb erwartet, dass der Prozessschritt der Detektion durch diesen Indikator beobachtbar ist.

**RALI-Frage Nr.4:** Die vierte Dimension, Systeminterferenz, beschreibt den Konflikt zwischen Fahr- und Nebenaufgabe. Dieser Konflikt herrscht vor allem, wenn Aufgaben nicht parallel durchgeführt werden können. In diesem Fall entsteht zusätzlicher Priorisierungsaufwand für den Fahrer, sodass diese Dimension dem Prozessschritt Priorisierung zugeordnet wird. Jedoch deckt dieser Indikator für die Priorisierung nicht alle Nebenaufgaben ab: Nebenaufgaben, die parallel zur Fahraufgabe ausgeführt werden können, sodass keine Interferenz besteht, werden hierdurch nicht beschrieben. Der Fahrer könnte diese Nebenaufgaben höher priorisieren als die Fahraufgabe, ohne eine Interferenz zu erkennen. Deshalb enthält der modifizierte RALI-Fragebogen ab dem zweiten Versuchsblock eine neue Dimension, die explizit nach der Priorisierung der Fahraufgabe fragt (siehe RALI-Frage Nr.2).

**RALI-Frage Nr.5:** Die benötigte Aufmerksamkeit für die Nebenaufgabe wird den Aufmerksamkeitsressourcen, welche für die Nebenaufgabe notwendig sind, zugeordnet. Entsprechen erfolgt eine Überprüfung, ob der Proband bei anspruchsvolleren visuellen Nebenaufgaben diese Dimension höher bewertet.

**RALI-Frage Nr.6:** Die sechste Dimension bewertet die Gesamtbeanspruchung aus Probandensicht, sodass diese Dimension keinem Prozessschritt, sondern der Bewertung der Beanspruchung zugeordnet wird.

**RALI-Fragen Nr.7 und 8:** Die Dimensionen des situationsbedingten Stresses sowie der negativen Emotionen können keinem Prozessschritt zugeordnet werden. Jedoch können aus einer Überforderung des Fahrers und damit ggf. verbundenen Fehlern sowohl Stress

als auch negative Emotionen entstehen. Entsprechend wird geprüft, ob, wenn der Proband durch seine Nebenaufgabe in den Bereich der Überforderung gelangt, diese Dimensionen mit Werten größer null bewertet werden.

### 6.2.3 Vorauswahl im Bereich der Verhaltensebene

Die Indikatoren der Verhaltensebene sind in Indikatoren aus dem Bereich der Fahraufgabe und der Nebenaufgabe unterteilt.

Der Verlauf der Indikatoren aus dem Bereich der Verhaltensebene in Abhängigkeit der Beanspruchung, ist hier vorab übergreifend formuliert, sodass die Indikatoren zur Beobachtung der Prozessschritte anwendbar sind. Wie bereits dargestellt, kann die Fahrzeugführung als Regelaufgabe mit dem Fahrer als Regler interpretiert werden. Neben dieser Aufgabe, welche während der Fahrt ständig den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess durchläuft, führt der Fahrer ggf. parallel dazu eine Nebenaufgabe aus. Solange der Fahrer die Fahraufgabe priorisiert, tritt nach Wickens<sup>11</sup> im Bereich der Herausforderung keine Änderung der Fahrleistung auf. Erfolgt eine Verschiebung der Priorisierung bei konstanter Beanspruchung von der Priorisierung der Fahraufgabe hin zur höheren Priorisierung der Nebenaufgabe, wird entsprechend erwartet, dass die Fahrleistung sinkt und im Gegenzug die Leistung des Fahrers in der Durchführung der Nebenaufgabe steigt. Ein weiterer Effekt ist, dass die Fahrleistung in den Bereichen der Unterforderung und der Überforderung abnimmt, da der Fahrer dort jeweils seine Beanspruchungsgrenzen erreicht. Dies führt dazu, dass die geistigen Ressourcen geteilt werden müssen, sodass weniger Ressourcen zur Ausführung der primären Fahraufgabe bleiben.

Das Fahrverhalten eines PTW-Fahrers, längs- sowie querdynamisch, ist von vielen Faktoren wie Verkehrsdichte, Streckenbeschaffenheit aber auch persönlichem Fahrstil abhängig. Um die Auswirkungen und daraus resultierende Beanspruchungsschwankungen durch diese Einflussfaktoren zu begrenzen, wird als Fahraufgabe eine Folgefahrt mit konstantem Abstand ausgewählt, bei der das führende Fahrzeug entsprechend der in den NHTSA-Guidelines beschriebenen DFD-Test die Geschwindigkeit variiert. Die Querführung ist dahingehend beschränkt, dass keine Fahrstreifenwechsel zugelassen werden. Da oben angesprochene Fahrleistungsänderungen sowohl längs- als auch querdynamisch auftreten können und nicht bekannt ist, welche der Fahrleistungen sinkt, werden sowohl die längsdynamischen Indikatoren zum Folgeverhalten als auch die querdynamischen Indikatoren erfasst und ausgewertet.

### Latenz und Korrelationshöhe

Im Grundlagenteil (siehe Kap. 2.4.1) wurde gezeigt, dass eine Vielzahl von Indikatoren für den Bereich der Verhaltensebene vorhanden ist. Für den Bereich der Längsführung werden die Indikatoren Latenz sowie Korrelationshöhe der Geschwindigkeitsprofile vorausgewählt, da diese direkt mit der vorgestellten primären Fahraufgabe verknüpft sind. Hinzu kommt, dass der Indikator Latenz bereits in den aktuellen Richtlinien Anwendung findet. Generell können auch alle anderen genannten Indikatoren ausgewertet werden, was jedoch den Rahmen der Arbeit sprengen würde.

---

<sup>11</sup>Wickens/Hollands (1999): Engineering psychology... S. 245ff.

Für die Indikatoren Latenz und Korrelationshöhe wird angenommen, wie zu Anfang dieses Abschnitts allgemein beschrieben, dass wenn der Fahrer nicht genügend Ressourcen durch Überforderung zur Verfügung hat oder durch Fehlpriorisierung nicht genügend zur Verfügung stellt, er dem Vorderfahrzeug weniger exakt folgt. Dies führt dazu, dass Geschwindigkeitsprofile eine geringere Korrelation aufweisen als auch dazu, dass eine größere Verzögerung im Einstellen des Sollabstands vorhanden ist, sodass der Indikator Latenz ansteigt.

Grundlage für die Anwendung dieser im Grundlagenteil beschriebenen Indikatoren ist, dass der Fahrer eine Folgefahrt durchführt. Hierbei müssen alle Voraussetzungen geschaffen sein, sodass der Fahrer zu jeder Zeit den vorgegebenen Sollabstand einhalten kann. Folglich dürfen die maximalen Beschleunigungen (positiv wie negativ) des Vorderfahrzeugs nicht höher sein als die mögliche Maximalbeschleunigung des eigenen Fahrzeugs bzw. Dynamikmodells. Zusätzlich sollten die Abstandsänderungen zum Vorderfahrzeug, auf die der Fahrer während des DFD-Tests einregeln soll, jederzeit erkennbar sein. Beispielsweise führt ein zu groß gewählter Sollabstand dazu, dass die Regelgenauigkeit des Fahrers stark nachlässt: Der Proband registriert Änderungen des Abstands durch eine Änderung der Größe des grafisch dargestellten Autos. Ist das Fahrzeug zu weit weg, sodass es auf der Bildebene der Projektion nur noch wenige Pixel belegt, sind kleine Änderungen durch die begrenzte Auflösung nicht darstellbar und somit für den Probanden nicht erkennbar.

Wie bereits beschrieben, werden die beiden Indikatoren im Bereich der Herausforderung dem Prozess der Priorisierung zugeschrieben.

### **Standardabweichung der Zeitlücke**

Dieser Indikator beschreibt wie die Indikatoren Latenz und Korrelationshöhe das Folgeverhalten des Probanden zum Vorderfahrzeug. Er wird gewählt, da er Teil der aktuellen Richtlinien ist.

Es wird erwartet, dass durch Überforderung oder geringere Priorisierung der Fahraufgabe die Standardabweichung der Zeitlücke ansteigt, da dann weniger oft Regeleingriffe zum Ausgleich des Abstands zum Vordermann erfolgen, diese dafür mit größeren Amplituden. Somit sollte der Kennwert im Bereich der Überforderung mit geringerer Priorisierung der Fahraufgabe ansteigen.

Es werden die gleichen Anforderungen an die Messumgebung gestellt wie für Latenz und Korrelationshöhe und Indikator wird ebenfalls dem Bereich Priorisierung zugeordnet.

Aus dem Bereich Querführung werden die folgenden zwei Indikatoren ausgewählt, da sie bereits Anwendung in den aktuellen Richtlinien finden.

### **Standardabweichung der Lateralen Position, Anzahl Verlassen des Fahrstreifen**

Die Indikatoren SDLP und die Anzahl Verlassen des Fahrstreifens sind eng miteinander verknüpft. Mit steigendem SDLP ist ab einem Grenzwert davon auszugehen, dass die Anzahl der Übertretungen einer Fahrbahnmarkierung steigt.

Wie bei den oben genannten Indikatoren der Verhaltensebene wird erwartet, dass die Werte der Indikatoren steigen, wenn der Fahrer die Fahraufgabe geringer priorisiert oder die Beanspruchung in den Bereich der Überbeanspruchung geht.

Für diese Indikatoren ist Grundvoraussetzung, dass der Fahrer angewiesen wird, den Fahrstreifen oder einen entsprechend definierten Fahrschlauch, anhand dessen eine Mittellinie zur Berechnung des SDLP berechnet wird, nicht zu verlassen. Angepasst auf einen definierten Fahrschlauch muss der zweite Indikator in diesem Fall die Anzahl Verlassen des Fahrschlauchs statt des Fahrstreifens bewerten. Außerdem ist die Sensitivität der Indikatoren nur gegeben, wenn das virtuelle Fahrzeug nicht perfekt spurtreu ist, sondern regelmäßige Korrekturen nötig sind, um die Solltrajektorie zu halten.

Wie an der Schilderung des erwarteten Signalverlaufs genannt, wird auch dieser Indikator dem Prozessschritt Priorisierung zugeschrieben.

## **Reaktionszeit und Anzahl positiver bzw. negativer Durchführungen der Nebenaufgabe**

Die Indikatoren der Nebenaufgaben im Bereich der Verhaltensebene sind abhängig von der gewählten Nebenaufgabe. In den aktuellen Richtlinien wird eine optische Erkennungsaufgabe, der Detection Response Task<sup>12</sup>, vorgeschlagen. Hierbei werden Reaktionszeit sowie Anzahl falscher Eingaben gemessen.

Je nach zu untersuchendem Verarbeitungsprozess werden unterschiedliche Nebenaufgaben gestellt. Abhängig davon, ob es eine zeitkritische und/oder eine Ergebnisqualitätsorientierte Aufgabe ist, werden die Reaktionszeit und/oder die Anzahl der Fehleingaben bzw. richtiger Eingaben bewertet. Eine detaillierte Dokumentation dazu ist den jeweiligen Versuchsbeschreibungen zu Anfang der Kapitel 7, 8, 9, 10 zu finden.

In beiden Fällen wird erwartet, dass mit steigender Schwierigkeit der Nebenaufgabe die Anzahl der Fehler sowie die Reaktionszeit solange konstant bleiben, bis der Bereich der Überforderung erreicht ist. Stehen während der Bearbeitung der Nebenaufgabe nicht ausreichend Aufmerksamkeitsressourcen zur Verfügung, steigt die Reaktionszeit bzw. die Anzahl begangener Fehler in der Nebenaufgabe. Entsprechend wird der Indikator den Aufmerksamkeitsressourcen zugeordnet.

## **Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben**

Zur Validierung der gestellten Nebenaufgabenschwierigkeiten wird zusätzlich die Anzahl durchgeführter Nebenaufgabenbedienungen ggf. pro Zeiteinheit als Indikator herangezogen. Je nachdem, ob die Durchführung der Nebenaufgaben nur in festen Zeitintervallen durchgeführt wird oder nicht, wird die Anzahl Eingaben oder die Anzahl Eingaben pro Zeit als Indikator genutzt.

Es wird erwartet, dass dieser Indikator mit steigender Anforderung der Nebenaufgabe im Bereich der Herausforderung bis zum Bereich der Überforderung steigt. Ab dort wird ein leichter Abfall des Indikators durch das Teilen der Aufmerksamkeitsressourcen mit der Fahraufgabe erwartet. Eine höhere Priorisierung der Nebenaufgabe führt somit zu einem höheren Wert des Indikators. Dieser Indikator wird entsprechend zur Beurteilung der Nebenaufgabenschwierigkeit genutzt und nicht einem Prozessschritt zugeordnet.

---

<sup>12</sup>Miura (1986): Coping with situation demands....

### 6.2.4 Vergleich der Vorauswahl mit Indikatoren aus aktuellen Richtlinien

Nachdem die vorausgewählten Indikatoren alle einer zu überwachenden Dimension zugeordnet wurden, wird im Folgenden verglichen, welche Dimensionen durch die Inhalte der aktuellen Richtlinien abgedeckt werden, unter der Voraussetzung, dass die noch zu prüfende Zuordnung korrekt ist.

Prozessschritt	Vorauswahl	Vergleich Richtlinien
Detektion	EORT / Attention-Ratio RALI-Frage Nr.3	EORT
Verarbeitung	Mean-Glance-Duration RALI-Frage Nr.1	Mean-Glance-Duration
Priorisierung	SDLP Anzahl Verlassen d. Fahrstreifens Latenz SdZl Korrelationshöhe RALI-Frage Nr.2 RALI-Frage Nr.4	SDLP Anzahl Verlassen d. Fahrstreifens Latenz SdZl
Aufmerksamkeitsressourcen	Reaktionszeit Mittlere Pupillenfläche Gesamte Flächenänderung Aufgabenbedingte Flächenänderung RALI-Frage Nr.5 Anzahl positiver bzw. negativer Durchführungen der Nebenaufgabe	Reaktionszeit

**Tabelle 6.2:** Zuordnung vorausgewählter Indikatoren sowie Indikatoren aus bekannten Richtlinien zu Prozessschritten

In Tabelle 6.2 sind die vorausgewählten Indikatoren noch einmal den Prozessschritten zugeordnet. Zusätzlich wurde in der dritten Spalte aufgeführt, welche der vorausgewählten Indikatoren auch in den genannten vier Richtlinien aus dem Pkw-Sektor genutzt werden.

## 6.3 Zwischenfazit

Zu Anfang des Kapitels erfolgte die Vorstellung der experimentellen Beweisführung von der Hypothesenformulierung bis zur Annahme bzw. Ablehnung der Hypothesen. Im nächsten Schritt wurden die menschlichen Beanspruchungsbereiche vorgestellt und anschließend erläutert, dass der Bereich der Herausforderung bis zum Übergang in den Bereich der

Überforderung den geeigneten Messbereich darstellt. Die vorgestellten, erwarteten Indikatorverläufe in den Beanspruchungsbereichen Herausforderung und Überforderung zeigen, dass ausschließlich die Priorisierung Einfluss auf die Indikatoren besitzt, die die Fahrleistung beschreiben (Bereich Verhaltensebene). Lediglich die Fahrleistung zur Beurteilung von Anzeige-Konzepten bzgl. Fahrsicherheit heranzuziehen ist somit nicht ausreichend. Ein wesentlicher Unterschied zwischen dieser Arbeit und den aktuellen Richtlinien besteht deshalb darin, dass für diese Studien angenommen wird, dass alle Prozessschritte gleichzeitig beobachtet werden müssen, um sämtliche Änderungen der Fahrsicherheit zu erfassen, da eine Überbeanspruchung des Probanden auch nur in einem der genannten Prozessschritte verursacht werden kann (siehe Kap. 5.1).

Die Vorauswahl der Indikatoren erfolgte gegliedert nach den Indikatorenbereichen *Physiologische Ebene*, *Berichtete Ebene* sowie *Verhaltensebene*. Im Anschluss wurde die Auswahl tabellarisch dargestellt sowie den Indikatoren der aktuellen Richtlinien gegenübergestellt.

Den Abschluss des Kapitels bildet die Darstellung der Gemeinsamkeiten der durchzuführenden Studien.

## 6.4 Gemeinsamkeiten der durchgeführten Studien

Die durchgeführten Studien wurden in drei Blöcken durchgeführt:

1. Prüfung der Indikatoren für Detektion und Wahrnehmung,
2. Prüfung der Indikatoren für Priorisierung und Aufmerksamkeitsressourcen,
3. Studie zur beispielhaften Anwendung der gewählten Indikatoren.

Somit besitzen die jeweiligen Studienblöcke die gleichen Rahmenbedingungen bzgl. der Software- und Hardware-Konfiguration. Zwischen den Blöcken fand ein Optimierungsprozess statt, auf den nur eingegangen wird, sofern sie relevant für die Studienergebnisse sind. Die Gemeinsamkeiten der Studien werden hier vorab dargestellt, um mehrfache Ausführungen der gleichen Inhalte zu vermeiden.

### 6.4.1 Beweisführung

Alle Studien unterliegen der gleichen Beweisführung, wie sie in der folgenden Aufzählung aufgezeigt ist. Durch einen Stern (\*) markierte Schritte werden zusammenfassend vorab in diesem Kapitel dargestellt.

1. Aufstellung der Forschungsfragen und Formulierung von Null- und Alternativhypothesen
2. Randbedingungen und Voraussetzungen
  - a) Versuchsumgebung Simulator\*
  - b) Virtuelle Teststrecke\*
  - c) Fahraufgabe\*
  - d) Nebenaufgabe
  - e) Versuchsablauf\* (inkl. Randomisierung der Aufgaben)
  - f) Demografische Daten\*
  - g) Gültigkeitsbereich der Ergebnisse
  - h) Statistische Testverfahren\*
3. Auswertung der Ergebnisse
4. Interpretation
5. Annahme oder Ablehnung der Nullhypothese



### 6.4.2 Versuchsumgebung Fahrsimulator

Die Grundidee, welche hinter dem Simulatorkonzept steht, bestand darin, dass möglichst diejenigen Sinnesreize während der Simulatorfahrt angeregt werden, welche zu einer Korrelation von vorhandenen Erinnerungen an das Motorradfahren passen, sodass dazu erlernte Verhaltensmuster während der Simulatorfahrt abgerufen werden. Dies ist ein wesentlicher konzeptioneller Unterschied dazu, die Realität möglichst exakt abzubilden. Während die uneingeschränkte Abbildung der Realität durch technische Einschränkungen niemals möglich ist, kann durch geschickte Auswahl und Wiedergabe von gegebenenfalls auch realitätsfremden Reizen einen subjektiv stimmigen Gesamteindruck bilden, sodass die angesprochene geistige Korrelation zwischen virtueller Fahrt und Realfahrt stattfindet. Dieses Konzept der Bewertung eines Simulators anhand des subjektiven Probandeneindrucks wird Präsenz-Konzept genannt, siehe auch Slater<sup>13</sup>, Sanches-Vives<sup>14</sup> und Slater<sup>15</sup>, und diene im Rahmen der Simulatoroptimierung als ein Konzept zur Bewertung des Entwicklungsfortschritts. Die Dokumentation der Simulatoroptimierung ist nicht Teil dieser Arbeit. Sie können in den Veröffentlichungen von Guth<sup>16,17,18,19</sup> nachgelesen werden.

### Signalfluss

Das Wirkprinzip des Simulators ist in Abbildung 6.3 dargestellt.

Der Fahrer bzw. Proband ist im oberen Bereich der Abbildung in der Mitte dargestellt. Durch seine manuellen Eingaben wie Gasgriffstellung oder Gangwahl sowie seine Positionsverschiebung relativ zum Mock-up gibt er Informationen an entsprechende Sensorik ab, die von der Simulationssoftware erfasst und verarbeitet werden. Die Simulationssoftware ist aus einer Grundsoftware sowie neun Modulen zusammengesetzt, welche acht Ausgabegrößen (Steuersignale) erzeugen. Die Ausgabesignale werden in der entsprechenden Hardware umgesetzt, sodass die umgesetzten Signale auf die Sinnesorgane des Probanden einwirken und der Proband eine virtuelle Realität, in der er selbst Teil des Regelsystems ist, erlebt.

### Komponenten und Wirkprinzipien

Die Realisierung der Komponenten ist skizzenhaft in den Abbildungen 6.4 und 6.5 dargestellt. Visuelle Informationen erhält der Proband aus der 4 m·3 m Frontprojektion mit einer Auflösung von 1680 px·1050 px bei einem Abstand von 3,2 m zum Fahrerkopf sowie zwei 46" TFT-Monitoren, welche genutzt werden, um die Rückansicht in den Fahrzeugsiegeln wiederzugeben. Durch einen Abstand der Bildschirme von ca. 1,1 m und einem Abstand des Fahrers von den Spiegeln von ca. 0,7 m ergibt sich ein virtueller Gesamtabstand von ca. 1,9 m zu den Bildschirmen. Ein möglichst großer virtueller Abstand zum Bild führt zu einer Verschiebung des Fokuspunktes vom Nah- in den Fernbereich, was das Blickerlebnis optimiert.

<sup>13</sup>Slater (1999): Measuring presence....

<sup>14</sup>Sanchez-Vives/Slater (2005): From presence....

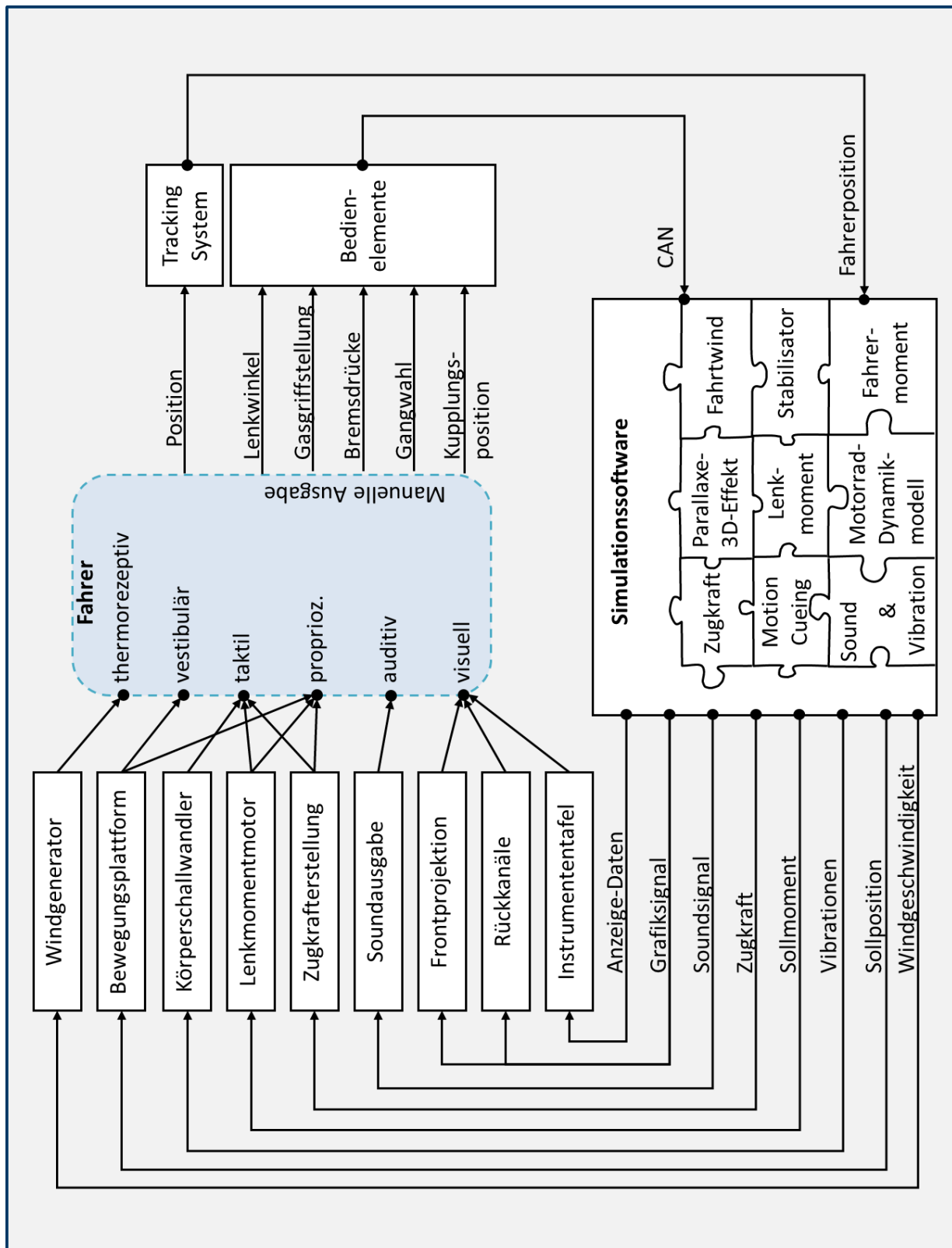
<sup>15</sup>Slater et al. (2009): How we experience....

<sup>16</sup>Guth (2014): Motorcycle riding simulation....

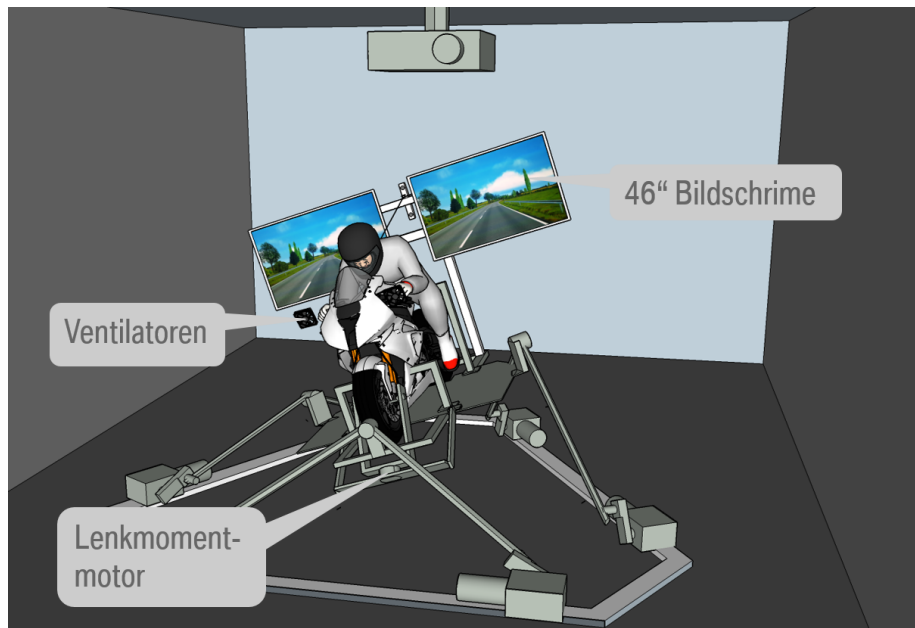
<sup>17</sup>Guth et al. (2015): Motion cueing algorithm....

<sup>18</sup>Guth et al. (2016): Motorcycle Riding Simulator....

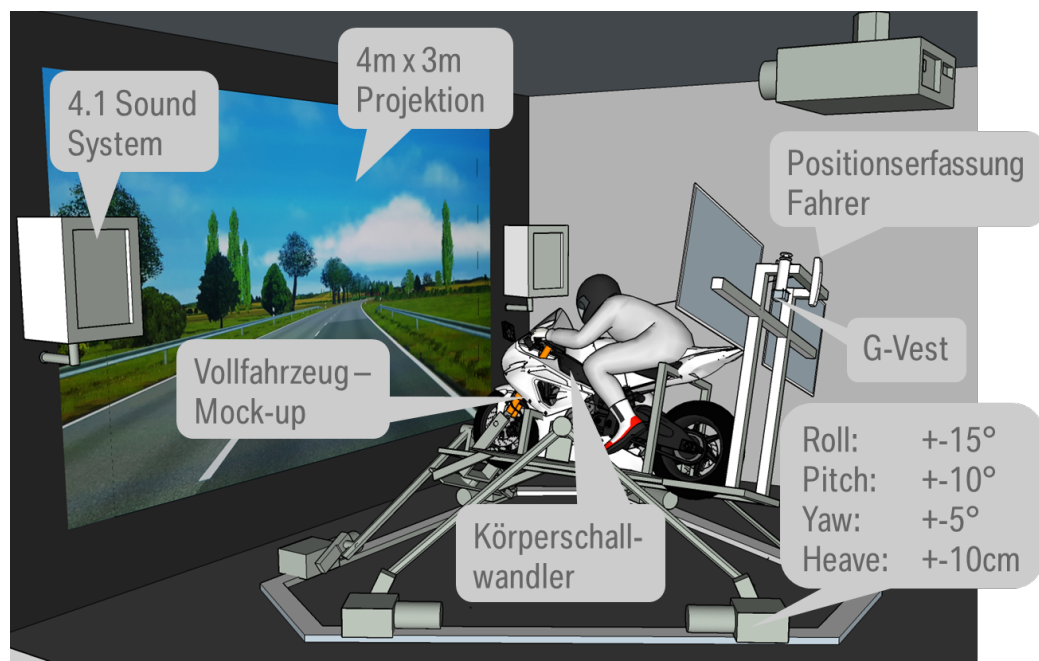
<sup>19</sup>Guth et al. (15.-16.04.2016): Concepc of a Dynamic....



**Abbildung 6.3:** Konzeptionelles Zusammenwirken von Soft-, Hardware-Komponenten und Fahrer



**Abbildung 6.4:** Hardware-Komponenten des genutzten BMW Motorrad-Fahrsimulators aus frontaler Perspektive



**Abbildung 6.5:** Hardware-Komponenten des genutzten BMW Motorrad-Fahrsimulators aus der Seitenperspektive

Durch Manipulation des Fahrzeugbussystems werden visuelle Informationen zum Fahrzeugzustand, der aktuellen virtuellen Geschwindigkeit, etc. über die Anzeigetafel des Fahrzeugs dargestellt. Die akustische Wahrnehmung wird durch vier Lautsprecher für hohe und mittlere Frequenzen sowie einen Lautsprecher für tiefe Frequenzen dargestellt, um ein möglichst breites Frequenzband abzudecken. Die Ansteuerungssignale basieren auf einem eigens entwickelten Soundmodul, das neben dem Lautsprechersystem synchron einen

unter dem Sitz verbauten Körperschallwandler ansteuert. Die Signalgenerierung erfolgt aus Mehrkanalmessaufnahmen an einer Akustikrolle, welche last- sowie drehzahlabhängig aufgenommen wurden und entsprechend der Fahrsituation zur Wiedergabe ausgewählt werden. Die Übergänge zwischen den einzelnen Aufnahmen werden mittels Überblendungen (Crossfading) sowie Tonhöhenanpassung (Pitch shift) geglättet, sodass diese für den Probanden nicht mehr erkennbar sind. Um Schallquellen wie andere Verkehrsteilnehmer auditiv orten zu können, werden diese dreidimensional im Raum wiedergegeben.

Zur Darstellung von Längsbeschleunigungen wurde ein Zugsystem, auch G-Vest genannt, aufgebaut. Dieses System stimuliert die propriozeptive Wahrnehmung durch Aufbringung von Druck auf den Oberkörper, entsprechend der Stimulation während positiver wie negativer Beschleunigungen. Für eine detailliertere Beschreibung sei auf die entsprechende Literatur verwiesen (siehe Hanselka<sup>20</sup>, Doz<sup>21</sup>, Guth<sup>22</sup>).

Zur Darstellung von am Lenker auftretenden Momenten ist ein elektrischer Direktantrieb am Lenksystem des Mock-ups befestigt. Aufgrund der Rückmeldungen vieler Probanden während des ersten und zweiten Studienblocks war zu erkennen, dass die Lenkmomentdarstellung für die Motorrad-Fahrsimulation einen wichtigen Bestandteil darstellt und dieser weiter ausgebaut werden sollte. Deshalb wurde dieses System zwischen Block zwei und Block drei grundlegend überarbeitet. Unter anderem erfolgte ein Austausch des Motors zur Darstellung des Drehmoments, sodass von ehemals 35 Nm Maximalmoment auf 70 Nm Maximalmoment erweitert wurde. Die Berechnung des Sollmoments, abhängig vom aktuellen Fahrzustand, erfolgt innerhalb des Mehrkörper-Motorrad-Modells und wird leicht angepasst an den Motor weitergegeben.

Das dargestellte Bewegungssystem besitzt sechs Freiheitsgrade, von denen Rollen ( $\Delta\varphi = \pm 15^\circ$ ), Nicken ( $\Delta\Theta = \pm 7^\circ$ ), Gieren ( $\Delta\psi = \pm 5^\circ$ ) sowie Heben ( $\Delta z = \pm 0,1 \text{ m}$ ) im Rahmen der Studien zur Verfügung standen. Die Ansteuerungsstrategie für die Studien, Motion-Cueing genannt, ist in Guth<sup>23</sup> veröffentlicht.

Im Gegensatz zum Führen eines Pkw spürt ein Motorradfahrer stets einen gewissen Fahrtwind. Zur Reproduktion vor allem des leicht kühlenden Effekts des Fahrtwinds wurden zwei Ventilatoren am Mock-up befestigt, welche geschwindigkeitsabhängig angesteuert werden.

Die Fahrereingaben an das Vollfahrzeug-Mock-up (eine BMW K1600 GT) werden durch Abhören des Fahrzeug-Bussystems (CAN-Bus) an die Simulationssoftware weitergegeben.

Eine weitere Eingabe stellt die Fahrerpositionserfassung dar. Da der Fahrer real die Kurvenfahrt durch Verschieben seines Schwerpunktes relativ zum Fahrzeug beeinflussen kann, wird dieser Einfluss auch im Simulator dargestellt. Über die aktuelle Position relativ zum Mock-up berechnet ein entsprechendes Software-Modul das daraus um die Rollachse des Fahrzeugs entstehende Moment. Dieses dient als weitere Größe zur Beeinflussung der Querverführung des Mehrkörpersimulationsmodells.

Zusätzlich wird das Signal der Fahrerposition genutzt, um den sogenannten Parallaxe-Effekt zu erzeugen: Durch Verschieben der Fahrerposition ändert sich die Perspektive im virtuellen Bild, sodass es beispielsweise möglich ist, durch Bewegungen an Objekten vorbei zu schauen.

---

<sup>20</sup>Hanselka (2015): Entwicklung technischer Konzepte....

<sup>21</sup>Doz Nadal (2015): Evaluation of Acceleration....

<sup>22</sup>Guth et al. (2016): Motorcycle Riding Simulator....

<sup>23</sup>Guth et al. (2015): Motion cueing algorithm....

### 6.4.3 Streckenprofile

Alle Versuchsblöcke bestehen aus einer Trainingsphase sowie einer Versuchsphase (Ablaufplan der Versuche siehe Kap. 6.4.4). Für die Trainingsphase werden die zwei Streckenprofile Autobahn und Landstraße 1 genutzt, wie in Tabelle 6.3 aufgelistet. Für die Versuchsphasen in den Versuchsblöcken eins und zwei wird jeweils das Profil NHTSA-Strecke gewählt. Versuchsblock drei nutzt zusätzlich das Profil Landstraße 2. Somit ergeben sich insgesamt vier Profile.

Block Nr. 1	Block Nr. 2	Block Nr. 3	Profilname	Kurzbeschreibung
x	x	x	Autobahn	Autobahn nach deutschen Vorschriften mit leichten Kurven, minimaler Verkehr
x	x	x	Landstraße 1	Kurvenreiche Landstraße ohne Verkehr mit leichtem Höhenprofil
x	x	x	NHTSA-Strecke	Highway nach US-Amerikanischen Vorschriften ohne Kurven, ohne Steigung, mit dichtem Verkehr
		x	Landstraße 2	Kurvenreiche Landstraße mit Verkehr und ausgeprägtem Höhenprofil

**Tabelle 6.3:** Auflistung der in den Versuchen genutzten Streckenprofile inklusive Kurzbeschreibungen der Strecken

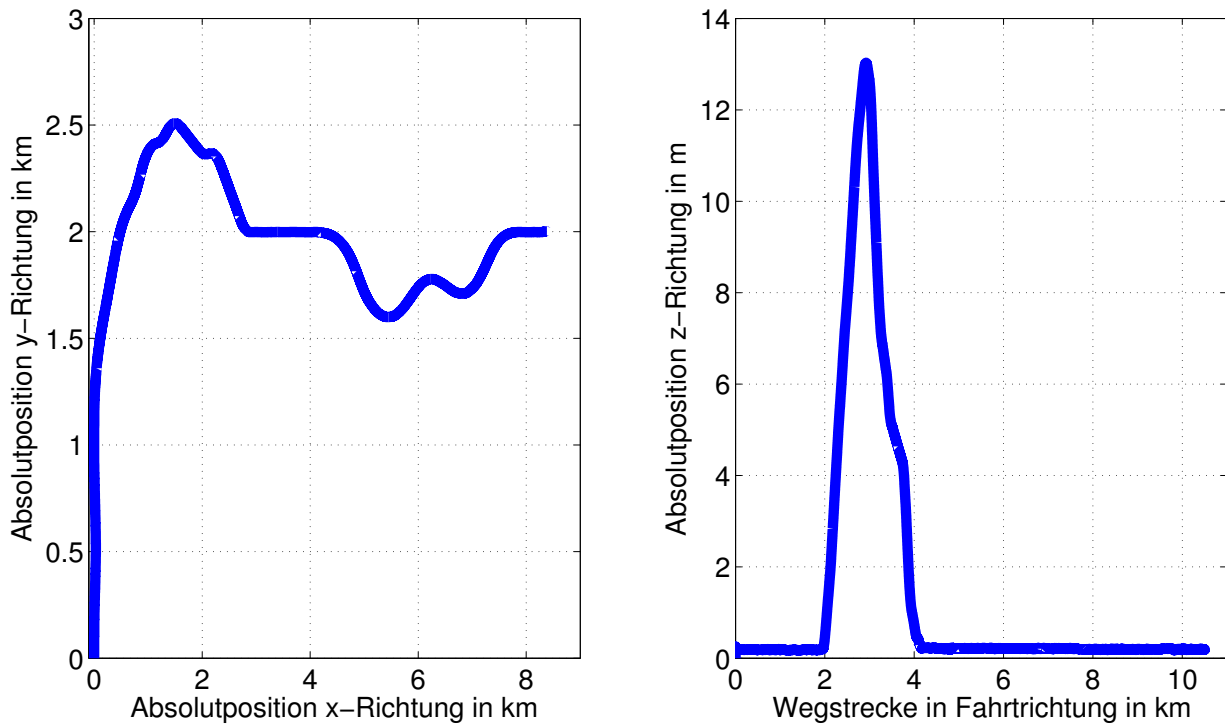
Das Profil Autobahn besteht aus einer Autobahn nach deutscher Bauvorschrift mit insgesamt sechs Fahrstreifen (je drei pro Richtung) und einer Abtrennung der Fahrstreifen des Gegenverkehrs durch Leitplanken. Der Streckenverlauf ist überwiegend gerade mit einzelnen, weitläufigen Kurven.

Die Strecke Landstraße 1 stellt eine Überlandstrecke mit zwei Fahrstreifen dar, welche zum Teil durch Bewaldung führt. Sie besitzt kurvige Passagen mit einem Höhenprofil, wie in der Abbildung 6.6 dargestellt. Diese Strecke wird gewählt, um nach der Autobahnfahrt ein anspruchsvolleres Streckenprofil zu trainieren.

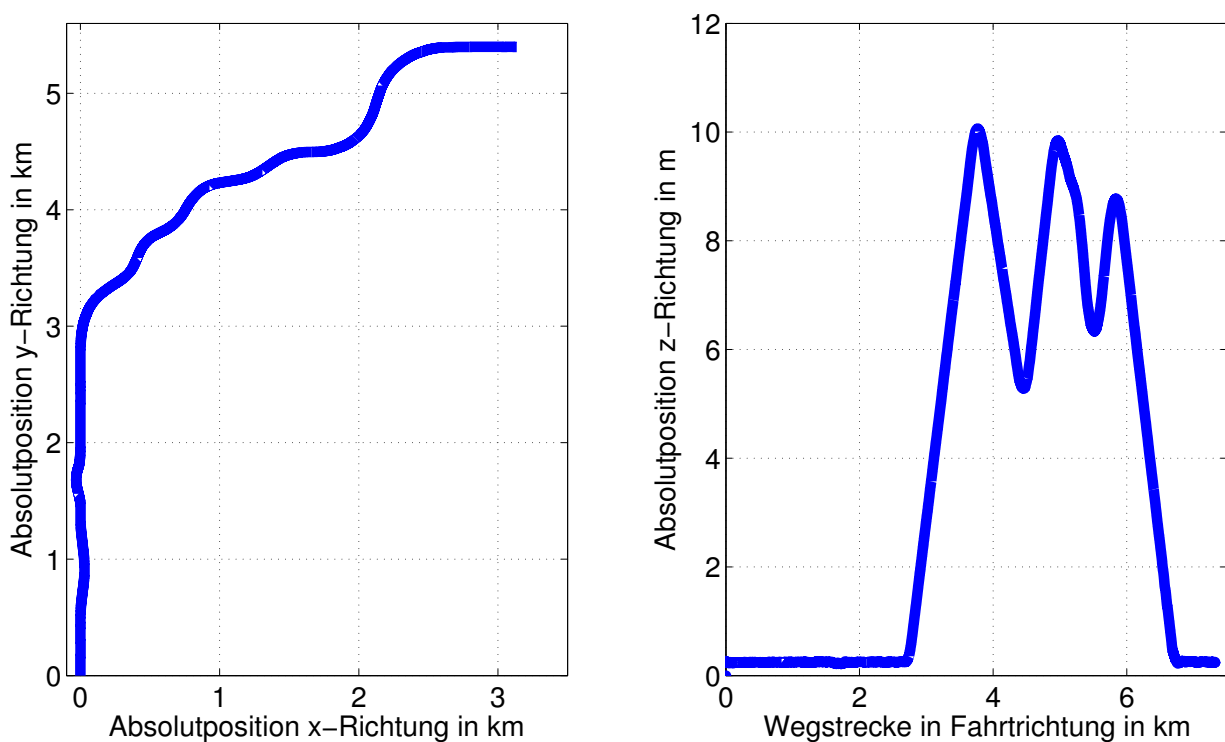
Den drei Versuchsblöcken liegt jeweils die gleiche virtuelle Teststrecke zugrunde, im Folgenden NHTSA-Strecke genannt. Sie orientiert sich an den Richtlinien der NHTSA<sup>24</sup> und besteht entsprechend aus einer geraden Schnellstraße nach US-Amerikanischem Vorbild mit vier Fahrstreifen (je zwei pro Richtung), welche nicht baulich getrennt sind, sondern durch zwei gelbe, durchgängige Fahrbahnmarkierungen. Alle Fahrstreifen werden von virtuellen Fahrzeugen befahren. Die Steigung der Strecke beträgt konstant null. Abbildungen der Strecke aus Fahrersicht sind in der weiteren Studiendokumentation zu finden.

Im Rahmen des Studienblocks drei wird neben der NHTSA-Strecke zusätzlich das Profil Landstraße 2 gefahren. Dieses bietet wie das Profil Landstraße 1 mehrere Kurven sowie ein ausgeprägtes Höhenprofil, siehe Abbildung 6.7.

<sup>24</sup>Department of Transportation (2012): Visual-Manual NHTSA....



**Abbildung 6.6:** Landstraße 1: Streckenverlauf in x- und y-Richtung (links); Höhenprofil der Strecke über dem gefahrenen Weg (rechts)



**Abbildung 6.7:** Landstraße 2: Streckenverlauf in x- und y-Richtung (links); Höhenprofil der Strecke über dem gefahrenen Weg (rechts)

#### 6.4.4 Versuchsablauf

Der Versuchsablauf der Studienblöcke eins und zwei ist identisch aufgebaut und in Abbildung 6.8 grafisch dargestellt. Nach einer Begrüßung und der Beantwortung eines demografischen Fragebogens erfolgt die Erklärung der Mock-up-Bedienung. Dem Probanden wird erklärt, dass er alle Eingaben wie bei einem realen Motorrad nutzen kann inklusive der Gewichtsverlagerung zur Beeinflussung der Querdynamik. Der Proband wird angehalten, keine Extremsituationen wie Vollbremsungen oder das Abheben des Vorderrads zu provozieren, sondern sich StVO-konform zu verhalten. Zusätzlich bekommt der Proband mitgeteilt, dass das simulierte Fahrzeug kein Anti-Blockier-System besitzt, sodass ein zu starkes Bremsen zum Blockieren des Vorderrads und somit zum Sturz führen kann.

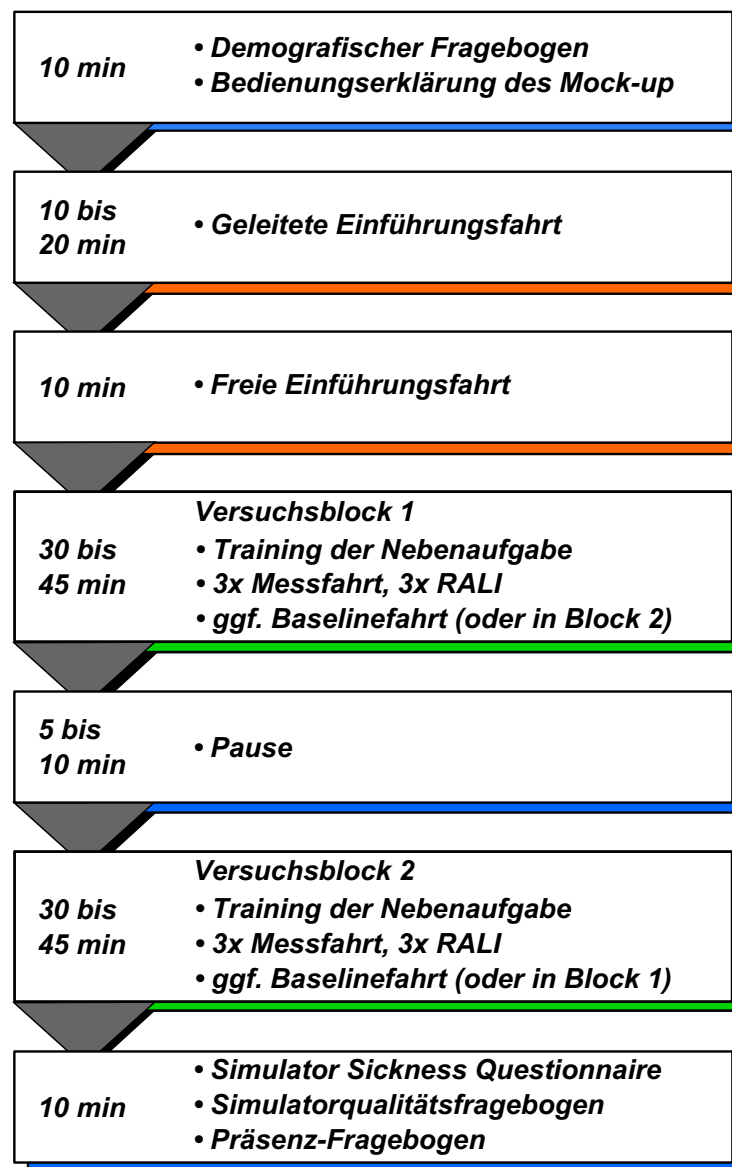


Abbildung 6.8: Versuchsablauf für die Studienblöcke eins und zwei

Damit der Proband sich an das dynamische Eigenverhalten des Motorrad-Simulatormodells gewöhnen kann, erfolgt zuerst ein Einführungsblock. Der erste Teil des Einführungsblocks besteht aus einer geleiteten Einführungsfahrt auf der Strecke Autobahn,

in der die folgenden Punkte wiederholt werden, bis der Fahrer die Aktionen aus Sicht des Versuchsleiters sicher ausführen kann:

- Anfahren mit mehreren Schaltvorgängen und anschließendem Anhalten
- Fahren leichter Kurven sowie Fahrstreifenwechsel im Geschwindigkeitsbereich 30 km/h bis 120 km/h
  1. Lenken nur mit Gewichtsverlagerung
  2. Lenken nur durch Nutzung des Lenkers
  3. Lenken durch Kombination von Gewichtsverlagerung und Lenkernutzung

Dieser Block nimmt je nach Proband zwischen 10 min und 20 min in Anspruch. Dadurch, dass alle Probanden dieses Training vor der Messfahrt durchlaufen, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass sich die Probanden bei Bearbeitung einer Nebenaufgabe nicht mehr auf die Beherrschung des Simulators selbst konzentrieren müssen.

Der zweite Teil der Einführung besteht aus einer freien Fahrt auf der Strecke Landstraße 1. Hierbei kann der Proband ein Landstraßenszenario frei durchfahren, um die Steuerung des Simulators innerhalb des persönlichen Fahrstils zu erlernen. Die Fahrt endet nach ca. 10 min.

Nach dieser Einführung beginnt der erste Versuchsblock. Wie bereits erwähnt, bestehen Studienblock 1 und 2 jeweils aus zwei Versuchen, von denen jeder drei Messfahrten in randomisierter Reihenfolge umfasst. Zu Beginn jedes Versuchsblocks trainiert der Proband die Nebenaufgabe des Versuchsblocks ohne Fahraufgabe, um die Reliabilität der Messungen zu steigern. Direkt im Anschluss an jede Messfahrt beantwortet der Proband den modifizierten RALI-Fragebogen (siehe Anhang 13.2) auf dem Mock-up sitzend. Innerhalb der zwei Versuchsblöcke wird pro Proband eine Messfahrt ohne Nebenaufgabe durchgeführt, im Folgenden Baseline-Fahrt genannt. Nach der Baseline-Fahrt erfolgt keine Beantwortung des modifizierten RALI-Fragebogens, da dieser in den meisten Dimensionen nach der Beanspruchung durch die Nebenaufgabe fragt, jedoch keine Nebenaufgabe gestellt ist. Die Versuchsblöcke besitzen jeweils eine Dauer von ca. 30 min bis 45 min. Die Inhalte der Studienblöcke sind in den folgenden Kapiteln erläutert.

Zwischen den Versuchsblöcken bekommt der Proband die Möglichkeit, sich durch eine zehn-minütige Pause zu erholen. Hierbei kann er vom Mock-up steigen, sich des Helms entledigen und Snacks sowie Getränke zu sich nehmen.

An die Pause schließt der zweite Versuchsblock an, welcher identisch zum ersten Versuchsblock abläuft. Nach Beendigung des Versuchsblocks beantwortet der Proband am Schreibtisch die Fragebögen Simulator Sickness Questionnaire (siehe Anhang 13.1), einen intern ausgearbeiteten Fragebogen zur Simulatorqualität sowie den Präsenz-Fragebogen nach Scheuchnpflug<sup>25</sup>. Damit endet die jeweilige Studie.

### 6.4.5 Demografische Daten

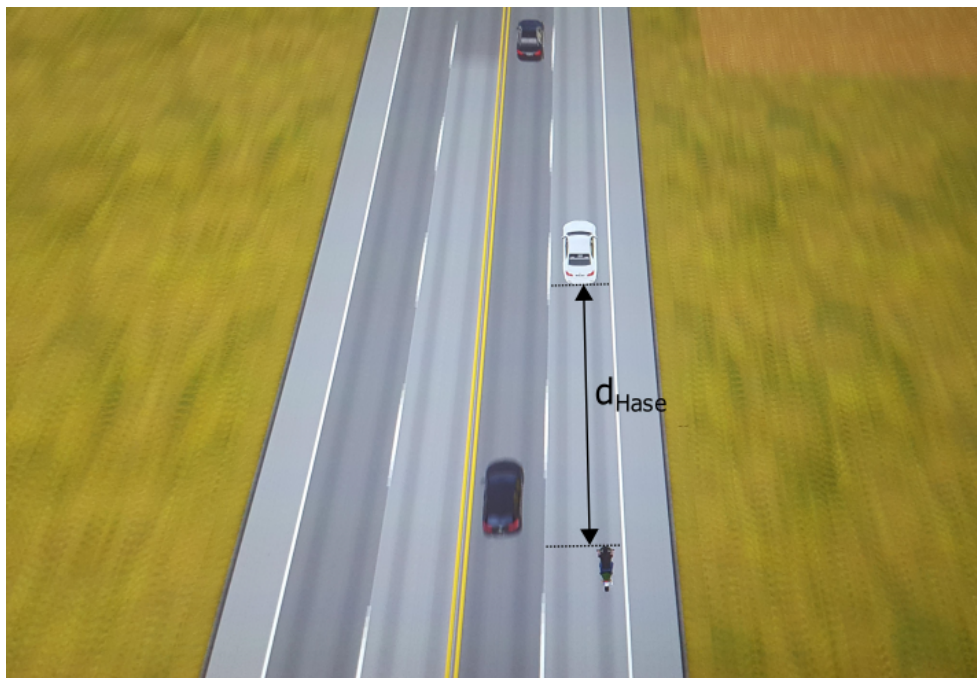
Zur Durchführung des Studienblocks 1 werden 20 Probanden, ausschließlich Männer, mit einem durchschnittlichen Alter von 32 Jahren ( $SD = 7,87$  Jahre) geladen. Alle Probanden besitzen 100 % oder auf 100 % korrigierte Sehkraft - vier von 20 sind Linkshänder.

---

<sup>25</sup>Scheuchnpflug (2001): Measuring Presence....



Der Probandenpool des zweiten Studienblocks besteht aus 25 Probanden, von denen zwei Frauen sind. Sie besitzen ein durchschnittliches Alter von 32 Jahren ( $SD = 8,67$  Jahre), zwei der 25 Probanden sind Linkshänder. Zehn Probanden geben an jährlich weniger als 5000 km mit dem Motorrad zu fahren, ebenfalls 10 geben an, zwischen 5000 km und 10 000 km zu fahren, vier fahren zwischen 10 000 km und 20 000 km und einer mehr als 20 000 km.



zu halten. Die Sollabstände zum Hasenfahrzeug in den jeweiligen Versuchen ist in Tabelle 6.4 aufgelistet.

Versuchsblock Nr.	Versuch	Sollabstand in m	Toleranzbereich in m
1	Detektion	75	25
1	Verarbeitung	75	25
2	Priorisierung	100	50, 20, 3
2	Ressourcen	100	20

**Tabelle 6.4:** Sollabstände zwischen Proband und Hasenfahrzeug in Abhängigkeit der Versuche

Jede Messfahrt beginnt mit dem Start aus einer Haltebucht und einer Annäherung an das Hasenfahrzeug, sobald beide Fahrzeuge auf die Zielgeschwindigkeit (Studienblock 1:  $v_{Start} = 100 \text{ km/h}$ , Studienblock 2:  $v_{Start} = 60 \text{ km/h}$ ) beschleunigt haben und der Sollabstand eingeregelt ist, startet das Abfahren des Geschwindigkeitsprofils des Hasenfahrzeugs sowie die Nebenaufgabe. Jedes Fahrprofil endet mit dem Abbremsen des Hasenfahrzeugs bis in den Stillstand nach ca. 4 min.

Für die Versuche Detektion, Priorisierung und (Aufmerksamkeits-)Ressourcen wird der Sollabstand konstant vorgegeben. Zur Variation der Priorisierung wird im Rahmen dieses Versuchs der Sollabstand zwischen den Schwierigkeitsstufen, wie in der Tabelle aufgeführt, variiert (siehe auch Kap. 9).

Nach der Auswertung des ersten Versuchsblocks hat sich gezeigt, dass es den Probanden schwer gefallen ist, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug einzustellen. Dies wird vor allem der Messumgebung Fahrsimulator zugeschrieben. Fehlende Tiefenwahrnehmung sowie begrenzte Auflösung der visuellen Darstellung erschweren die Abstandsregelung. Deshalb wurde zur Unterstützung des Probanden eine grafische Hilfestellung implementiert, wie in Abbildung 6.10 eingeführt.

Befindet sich der Proband außerhalb des in Tabelle 6.4 aufgeführten Toleranzbereichs, erscheint eine Projektion auf der Fahrbahnoberfläche in der Nähe des Zielfahrzeugs (um den Fokuspunkt des Fahrers nicht vom Fahrzeug weg zu lenken), der den Fahrer durch Symbolik auffordert, den Sollabstand einzuregeln. Pfeilspitzen, die in Richtung des Hasenfahrzeugs zeigen, wie in der Abbildung 6.10 gezeigt, symbolisieren hierbei, dass der Fahrer den Abstand verringern soll, Pfeilspitzen in Gegenrichtung entsprechend, dass er den Abstand vergrößern soll.

Für die Versuchsblöcke 1 und 2 werden jeweils vier Geschwindigkeitsprofile für das Hasenfahrzeug entworfen und randomisiert den Versuchen zugeteilt, um zu vermeiden, dass der Proband sich die Geschwindigkeitsprofile einprägen kann. Die Profile werden nach Ranney<sup>26</sup> wie folgt abgeleitet: Die insgesamt acht Geschwindigkeitsprofile entspringen einem weißen gaußschen Rauschsignal mit anschließender Filterung. Eine Addition der Grundgeschwindigkeit  $v_0 = 100 \text{ km/h}$  für Versuchsblock 1 sowie  $v_0 = 60 \text{ km/h}$  für Versuchsblock 2 führt zu den in Abbildung 6.11 dargestellten Profilen. Die Grundgeschwindigkeit wird im zweiten Versuchsblock reduziert, um die Eigenstabilität des Motorrads zu reduzieren und somit die Querführung des Fahrzeugs zu erschweren. Außerdem wird der Frequenzbereich der Geschwindigkeitsbereich um niedrigere Frequenzen erweitert. Hierdurch wird erwartet,

<sup>26</sup>Ranney et al. (2007): Characteristics of Voice-Based... S. 92ff.



**Abbildung 6.10:** Hasenfahrzeug mit Hilfsmarkierungen zur Vereinfachung der Regelaufgabe Abstand halten

dass die Indikatoren Latenz und Korrelationshöhe an Aussagekraft gewinnen, da die Signale dadurch dem Probanden weniger regelmäßig erscheinen und er sich somit stärker auf die Abstandseinhaltung konzentriert.

### 6.4.7 Statistisches Testverfahren

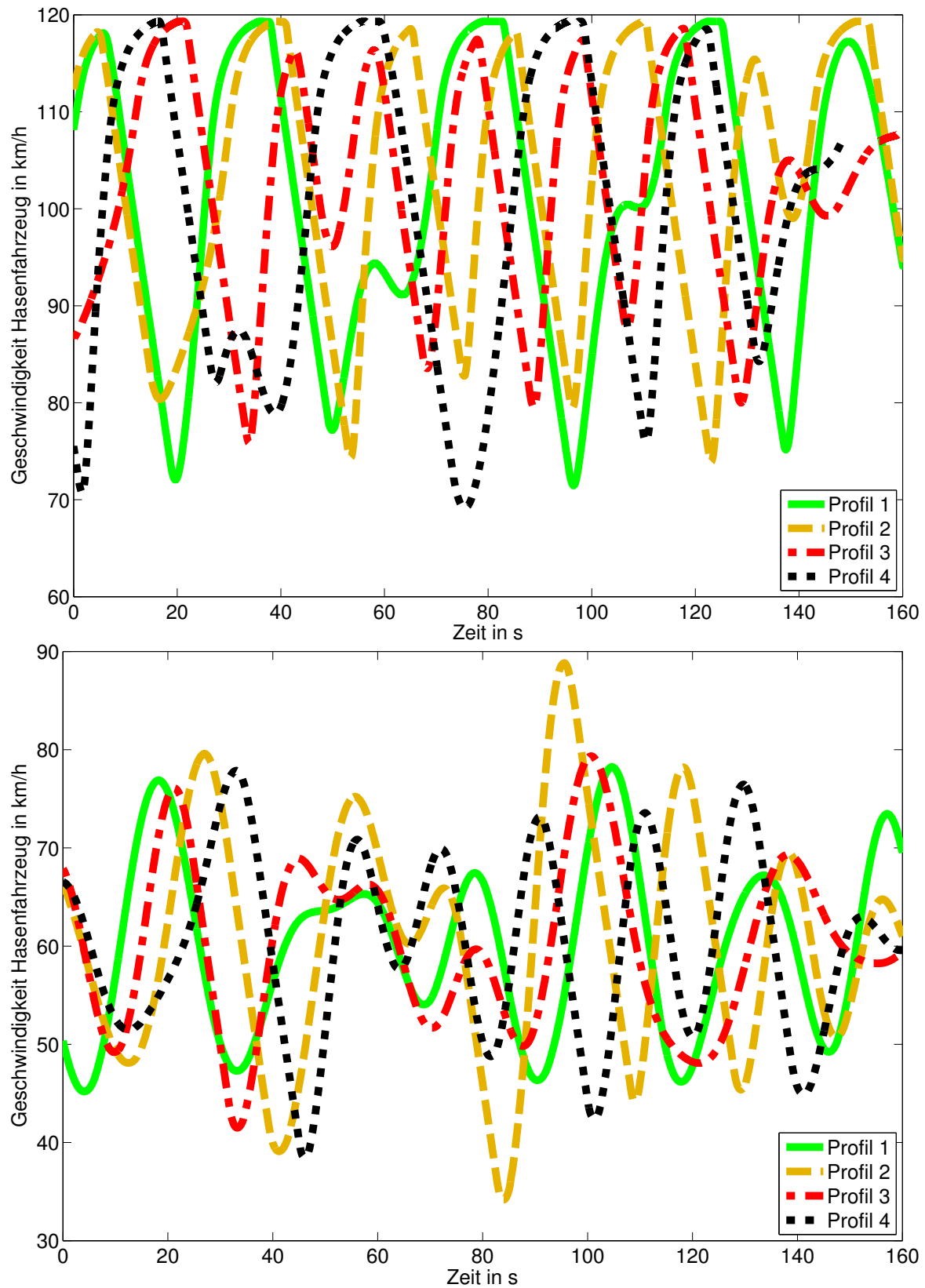
Zur Beweisführung, dass durch eine Änderung der Belastung und daraus resultierender geänderter Beanspruchung eine Veränderung im jeweils ausgewählten Indikator zu erkennen ist, wird der t-Test für verbundene Grundgesamtheiten eingesetzt. Eine Voraussetzung zur Anwendbarkeit des t-Tests ist die Stichprobenmittelwerte einer Normalverteilung unterliegen. Nach dem Grenzwertsatz ist dies für Zufallsstichproben bei hinreichend großem Stichprobenumfang  $n_{\text{hinreichen}}$  gegeben. Die Angaben in der Literatur für diesen Mindeststichprobenumfang schwanken je nach Quelle zwischen  $n_{\text{hinreichend}} = 5 \dots 50$  (siehe z.B. Zwerenz[S. 345ff.]<sup>27</sup> oder Weiß[S. 134]<sup>28</sup>).

Die Studienblöcke sind so aufgeteilt, dass jeder Proband alle Belastungsstufen durchläuft, sodass eine verbundene Grundgesamtheit der Messdaten vorliegt.

Die Studien steigern die Beanspruchung je Versuch. Entsprechend wird von den Werten der untersuchten Indikatoren angenommen, dass diese durch die Steigerung der Beanspruchung monoton steigen bzw. fallen. Da somit die Richtung der Änderungen des Indikatorverhaltens vorab festgesetzt ist, wird ein einseitiges Testverfahren angewandt. Details zur erwarteten Richtung der Indikatoränderung sind den jeweiligen Hypothesen und Auswertungen zu entnehmen. Um den gleichen Annahmebereich zu erhalten wie bei einem beidseitigen Test wird das Signifikanzniveau auf  $p = 0,1$  gesetzt. Somit werden im Folgenden Signifikanzniveaus im Bereich  $0,02 < p \leq 0,1 \dots$  als signifikant, im Bereich  $0,002 < p \leq 0,02 \dots$  als hoch signifikant und im Bereich  $p \leq 0,002 \dots$  als höchst signifikant bzw. schlüssig bezeichnet.

<sup>27</sup>Zwerenz (2007): Statistik....

<sup>28</sup>Weiß (2013): Basiswissen Medizinische Statistik.



**Abbildung 6.11:** Geschwindigkeitsprofile des Versuchsblocks 1 (oben) und des Versuchsblocks 2 (unten)

---

## 7 Studie 1: Prozessschritt Detektion

Für den Verarbeitungsprozess Detektion erfolgte die Vorauswahl dieser Indikatoren:

- Attention-Ratio
- RALI-Frage Nr.3 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ (gesamter RALI-Fragebogen siehe Anhang 13.2)

Im Rahmen der Studie werden die Sensitivität, die Bandbreite, der Einfluss auf die Fahraufgabe sowie die Validität der Indikatoren geprüft.

### 7.1 Hypothesenformulierung

Zur Überprüfung, ob es möglich ist, die Einflüsse von zwei ABk auf den Prozessschritt Detektion mittels der Indikatoren zu bewerten, werden für jeden der drei Indikatoren folgende Hypothesen geprüft.

#### Bandbreite

Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, ist in einem ersten Schritt zu zeigen, dass die vorausgewählten vier Schwierigkeitsstufen der Nebenaufgabe die Bereiche leichte Herausforderung bis Überforderung umfassen. Dies erfolgt durch Prüfung der folgenden Hypothesen:

#### ***Übergang zwischen den Bereichen der Unterforderung und Herausforderung***

- H0a: Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Medianen der positiven Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufen *einfach* und *schwer* feststellbar und/oder die Stufe *einfach* wird mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht am geringsten unter allen Stufen bewertet.
- H1a: Der Median der Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufe *einfach* ist signifikant höher als für die Stufe *schwer*. Zusätzlich ist die Bewertung der Stufe *einfach* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ signifikant geringer bewertet als alle anderen Stufen.

#### ***Bereich Überforderung***

- H0b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist nicht durch eine sinkende Leistung in der erfolgreichen Durchführung der Nebenaufgabe zu erkennen und/oder der Proband beurteilt die Stufe *schwer* mittels

der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht mit dem Maximalwert.

- H1b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist durch eine sinkende Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe zu erkennen. Zusätzlich bewertet der Proband die RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ mit dem Maximalwert.

Für die oben aufgestellten Hypothesen wird angenommen, dass ein monotoner Verlauf des Indikators zwischen den Schwierigkeitsstufen vorhanden ist. Entsprechend ist zur Bestimmung der Bandbreite die Differenzierbarkeit der Indikatorergebnisse zwischen der geringsten und größten Schwierigkeitsstufe zu beweisen.

- H0d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen ist im Bereich Herausforderung kein streng monotonen Ansteigen oder Abfallen des Indikators nachweisbar.
- H1d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen im Bereich Herausforderung steigen die Mediane des Indikators streng monoton an oder fallen streng monoton ab.

## Sensitivität bzw. Trennschärfe

Zur Prüfung der Sensitivität wird analysiert, ob im Bereich Herausforderung signifikant unterschiedliche Messergebnisse zwischen den Beanspruchungsstufen nachweisbar sind.

- H0d: Im Bereich Herausforderung sind keine signifikanten Unterschiede der Mediane des Indikators durch Variation der Schwierigkeitsstufen feststellbar.
- H1d: Im Bereich Herausforderung sind signifikante Unterschiede der Mediane des Indikators durch Variation der Schwierigkeitsstufen feststellbar.

## Validität

### *Einfluss auf die Fahraufgabe*

Der Einfluss der Erfassung des Indikators auf die Fahraufgabe ist im Kapitel 5.3 als separates Kriterium zur Bewertung der Indikatoren aufgelistet, da dies so in der zitierten Literatur der Fall ist. Ein nicht konstanter Einfluss über der Aufgabenschwierigkeit kann dazu führen, dass ein sonst konstanter Indikator signifikante Unterschiede aufzeigt. Somit stellt der Einfluss auf die Fahraufgabe einen Teilaspekt der Validierungsprüfung dar und wird im Rahmen der Validitätsuntersuchung geprüft.

- H0e: Die Erfassung des Indikators beeinflusst die Fahraufgabe veränderlich über der Belastungsänderung der Nebenaufgabe.
- H1e: Die Erfassung des Indikators beeinflusst die Fahraufgabe konstant oder gar nicht über der Belastungsänderung der Nebenaufgabe.

## Indikatorenwahl

Zur Prüfung, ob der Indikator ausschließlich auf Variationen der Belastung im Bereich Verarbeitung reagiert, sind die erwarteten Verläufe des Indikators während der anderen Versuche in Kapitel 7.4 formuliert.

- H0f: Der Indikator zeigt nicht das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Verarbeitung, Priorisierung und Aufmerksamkeitsressourcen.
- H1f: Der Indikator zeigt das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Verarbeitung, Priorisierung und Aufmerksamkeitsressourcen.

## 7.2 Randbedingung: Nebenaufgabe

An die Nebenaufgabe zur Beeinflussung des Prozessschritts Detektion in der Fahrsimulator-Versuchsumgebung sind im Rahmen dieser Arbeit folgende Anforderungen gestellt:

1. Einstellbare Häufigkeit der Verschiebung des Fokuspunktes vom Hasenfahrzeug zum Bereich ABk (Einstellbarkeit der Schwierigkeit).
2. Alle anderen Dimensionen müssen unabhängig von der Schwierigkeit der Nebenaufgabe konstant und ausreichend gering belastet werden, sodass der Proband durch Belastung in diesen Dimensionen nicht in den Bereich Überforderung gelangt.

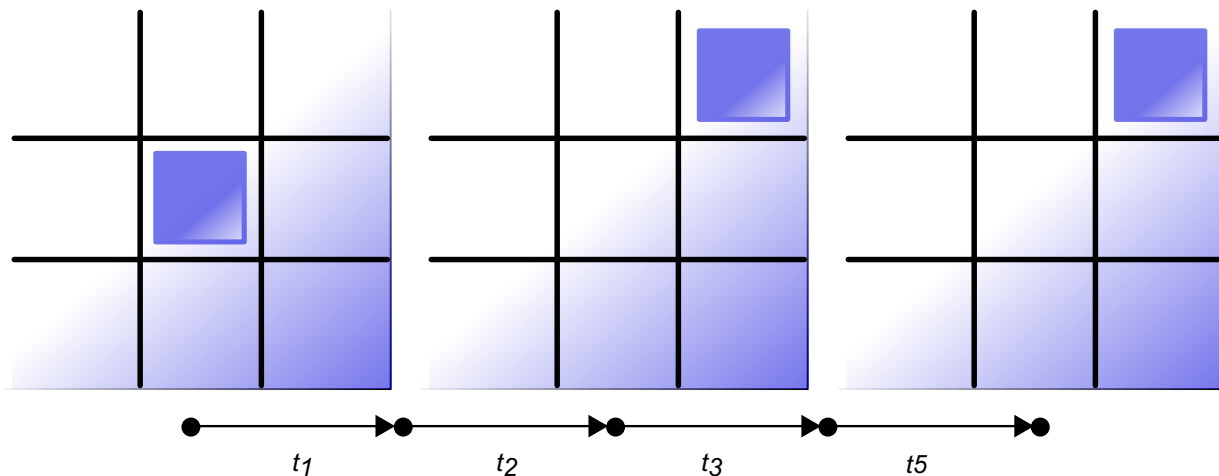
Ähnlich des Indikatorenauswahlprozesses ist zur Suche der optimalen Nebenaufgabe eine ausgiebige Recherche mit anschließender Bewertung notwendig. Um die Reliabilität und Validität des Versuchsdesigns hoch zu halten, werden für die Studien Nebenaufgaben gewählt, deren Effekte auf den Probanden hinreichend bekannt und dokumentiert sind. Eine häufig eingesetzte Nebenaufgabe aus dem Bereich der optischen Erkennungsaufgaben stellt der Peripheral Detection Task<sup>1</sup> dar. Wie der Name bereits sagt, wird ein optischer Reiz im peripheren Sichtbereich gesetzt, den der Proband zu detektieren hat. Da für die Belastung des Prozessschrittes der Detektion der primäre Sichtbereich gezielt zur Nebenaufgabe gesteuert werden soll, wird diese Nebenaufgabe verworfen.

Stattdessen wird eine zweite, oft angewandte Nebenaufgabe genutzt, die erstmals 1958 von Kirchner<sup>2</sup> vorgestellt wurde: Der n-Back-Task, welcher in der Form des optical oder position 1-back Task kurz O-1bT, genutzt wird. Der Vorteil dieser Nebenaufgabe liegt darin, dass die Anzahl der Blicke sowie der Zeitpunkt der Blicke auf die Nebenaufgabe direkt gesteuert werden können.

Der O-1bT besteht aus einer grafischen 3x3 Matrix, siehe Abbildung 7.1. In für den Probanden zufälliger Reihenfolge erscheint in einem der neun Felder der Matrix ein Quadrat, welches nach einer festgelegten konstanten Anzeigedauer ( $t_1 = t_3 = \dots$ ) wieder verschwindet. Nach einer festgelegten Ausblenddauer ( $t_2 = t_4 = \dots$ ), in der kein Quadrat angezeigt wird, erscheint erneut ein Quadrat für die festgelegte Anzeigedauer an einer zufällig gewählten Stelle, siehe Mitte der Abbildung. Dieses Verhalten wiederholt sich für die gesamte Messdauer. Der Proband ist angewiesen, jedes Mal, wenn das Quadrat wieder an der

<sup>1</sup>Martens/van Winsum (2000): Measuring Distraction....

<sup>2</sup>Kirchner (1958): Age differences....



**Abbildung 7.1:** Aufgabenverlauf des Optical 1-back Task

gleichen Position erscheint wie das letzte Quadrat (vgl. Abbildung Mitte und Abbildung rechts), dies durch Drücken eines Knopfes zu bestätigen.

Durch den Intervall-basierten optischen Reiz wird der Proband regelmäßig aufgefordert, das Display zu betrachten, auf dem der O-1bT abläuft. Die Stärke der Belastung durch die Nebenaufgabe (im weiteren Verlauf Schwierigkeit genannt) lässt sich durch Verkürzung der Ausblenddauer erhöhen. So muss der Fahrer in kürzeren Abständen die Nebenaufgabe betrachten und somit öfter den Blick vom Verkehr abwenden.

Die Aufgabe zur Belastung des Verarbeitungsprozesses, die Position des Vorgängers mit der aktuellen Position zu vergleichen, bleibt auch bei Änderung der Ausblenddauer in ihrer Beanspruchungshöhe gleich, ebenso die Ausführungsaufgabe, einen Knopf zu betätigen. Die Priorisierung der Aufgabe ist ebenfalls konstant über der Schwierigkeit, da der Anreiz, die Nebenaufgabe durchzuführen nicht geändert wird.

Die technische Umsetzung der Nebenaufgabe ist in Abbildung 7.2 dargestellt. Das Display zur Darstellung der Nebenaufgabe befindet sich oberhalb des Kombi-Instruments, wo sonst der Bildschirm des Navigationssystems montiert ist. So sinkt der Blick wie bei der Betrachtung der restlichen Instrumente nach unten. Der vertikale Blickweg ist minimal kürzer als für die Betrachtung der Kombi-Instrument-Inhalte. Da die Höhe des Kombi-Instruments je nach Fahrzeugtyp unterschiedlich ist und hier während des Experiments nicht variiert wird, ist kein Einfluss der veränderten Position auf die Messergebnisse zu erwarten.

## Schwierigkeitsgrade

Mittels Vorversuchen (Probandenzahl  $N = 3$ ) wurden die in Tabelle 7.1 aufgelisteten Intervalldauern (Anzeigedauer + Ausblenddauer) ermittelt, um drei Schwierigkeitsgrade (*einfach*, *mittel*, *schwer*) zu bestimmen. Die Anzeigedauer wird konstant auf  $t_{\text{Anzeige}} = 0,7s$  gesetzt. Mit dieser Dauer ist bei der geringsten Intervalldauer (Schwierigkeitsgrad *schwer*) gegeben, dass der Proband das mehrmalige Erscheinen des Quadrats an der selben Stelle als solches erkennt. Eine längere Anzeigedauer führt dazu, dass mehrmaliges Erscheinen als ein langes Erscheinen des Quadrats wahrgenommen wird.

Zur Prüfung der Differenzierbarkeit der Ergebnisse (Sensitivität) wird ein weiterer





**Abbildung 7.2:** Positionierung des Optical 1-back Tasks, sodass der Blick wie bei der Betrachtung des Kombi-Instruments nach unten sinken muss

Schwierigkeitsgrad	Intervalldauer in s	Wiederh.	Gesamtdauer in s	Erscheinungsdauer in %
einfach	3,0	80	240	23,3
mittel	1,8	135	243	38,8
fordernd	1,5	160	240	46,6
schwer	0,9	270	243	77,7

**Tabelle 7.1:** Intervalle zur Prüfung der Bandbreite des Indikators EORT

Schwierigkeitsgrad mit einer geringfügig kürzeren Intervalldauer als der Schwierigkeitsgrad *mittel* eingeführt, der als *fordernd* bezeichnet wird.

## 7.3 Gültigkeitsbereich der Ergebnisse

Zur Durchführung der Studie werden mehrere Randbedingungen vorgegeben. Werden diese nicht eingehalten, ist das Experiment nicht korrekt durchgeführt, entsprechend müssen die

zugehörigen Messdaten verworfen werden. Die für diese Studie berücksichtigten Grenzwerte sind in Tabelle 7.2 aufgezählt.

Thematik	Messwert	Grenzwert
Primäraufgabe Längsführung	Mittlerer Abstand zum Vordermann	$< 200$ m
Erledigung der Nebenaufgabe	Attention-Ratio	$< 0,1$
Befinden des Probanden	SSQ Total Score	$< 50$

**Tabelle 7.2:** Grenzwerte zur Sicherstellung der Datenqualität der Studie Detektion

In Kapitel 6.4.6 wurde gezeigt, dass das Einregeln des Sollabstands während der Fahrfahrt nur möglich ist, wenn der Abstand zwischen dem Probanden und dem Vorderfahrzeug nicht zu groß wird. Anderenfalls sinkt die Belastung durch die Fahraufgabe stark ab, sodass der Proband mehr Ressourcen zur Erledigung der Nebenaufgabe zur Verfügung hat und so die Messergebnisse der Indikatoren verfälscht. Als maximaler mittlerer Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug wird der doppelte Sollabstand  $d_{max} = 200$  m als Obergrenze definiert.

Zur Erledigung der Nebenaufgabe O-1bT ist es notwendig, regelmäßig das Zusatzdisplay zu betrachten. Liegt der Wert Attention-Ratio unterhalb der Mindestgrenze  $P_{ABk_{min}} = 0,1$  kann davon ausgegangen werden, dass der Proband die Nebenaufgabe über längere Zeit der Messfahrt ignoriert hat.

Die Simulatorkrankheit (eine Übersicht zur Thematik bietet z.B. Johnson<sup>3</sup>) stellt ein bekanntes Problem in der Fahrsimulation dar. Verschlechtert sich das Befinden des Probanden während der Studie, sodass die Simulatorkrankheit seine Beanspruchungsgrenze absenkt, können die Daten nicht verwertet werden. Als Grenze wird der berechnete Gesamtwert auf  $SSQ_{Total_{max}} = 50$  gesetzt. Die Bewertungsskala umfasst die folgenden Stufen zur Symptombeschreibung: kein, leicht, moderat und stark. Durch Festsetzen der Grenze auf den Wert 50 befinden sich ausschließlich Probanden mit den Bewertungen *kein* oder *leicht* innerhalb des Gültigkeitsbereichs.

## 7.4 Auswertung

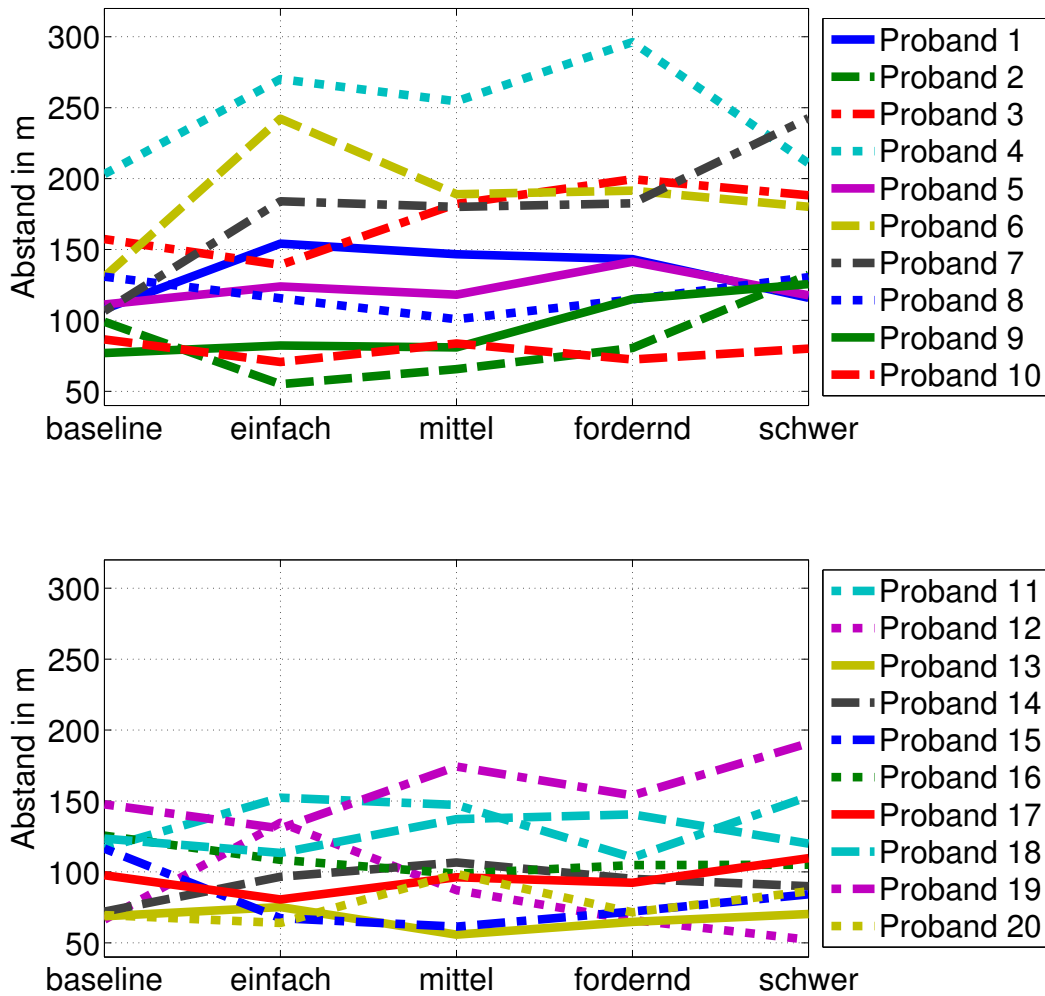
Dieses Kapitel prüft die aufgenommenen Daten kritisch und stellt anschließend die Ergebnisse der Studie zusammen mit der Prüfung der Hypothesen vor.

## Prüfung der Gültigkeitsbereiche

### Fahraufgabe

In Abbildung 7.3 sind die mittleren Abstände zwischen Eigen- und vorausfahrendem Fahrzeug der einzelnen Probanden über den Schwierigkeitsstufen aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass mehrere Probanden die vorgegebenen Grenzen des Sollabstands ( $d_{min} = 50$  m,  $d_{max} = 100$  m) zum Teil deutlich überschritten haben. Keiner hingegen hat die Grenze von  $d_{min} = 50$  m unterschritten.

<sup>3</sup>Johnson (2005): Introduction to...



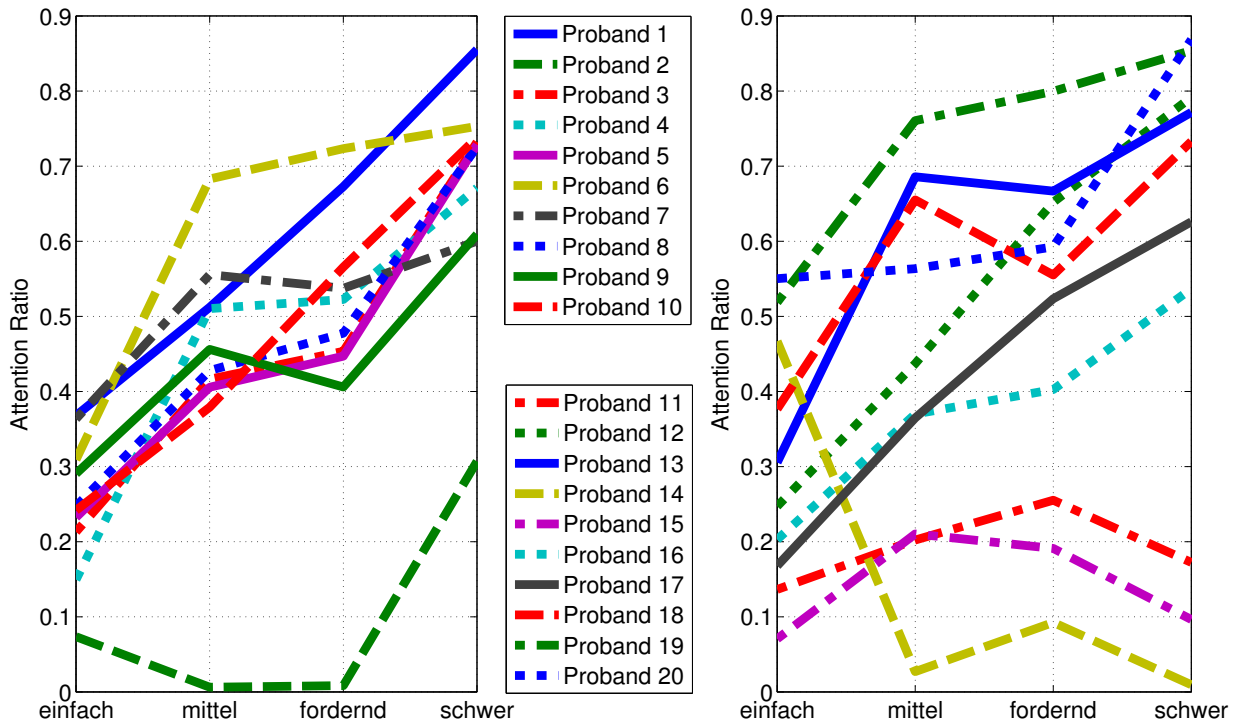
**Abbildung 7.3:** Darstellung des mittleren Abstands zwischen Probanden- und vorausfahrendem Fahrzeug, aufgeschlüsselt nach den Probanden über den Schwierigkeitsgraden

Proband 4 hat den maximalen Abstand von  $d_{max} = 200$  m deutlich überschritten, die Probanden 6 und 7 in jeweils einem Schwierigkeitsgrad, sodass diese drei Probanden von der Auswertung ausgeschlossen werden.

## Nebenaufgabe

Während die meisten Probanden regelmäßig die Fahraufgabe unterbrechen für kurzzeitige Blicke auf das Display der Nebenaufgabe, ignorierte Proband 14 die Nebenaufgabe abgesehen vom Schwierigkeitsgrad *einfach* nahezu vollständig, wie anhand des Kennwerts Attention-Ratio in Abbildung 7.4 zu sehen ist. Proband 2 versuchte, die Nebenaufgabe über das periphere Sehen zu lösen (Aussage des Probanden), sodass der Kennwert Attention-Ratio hier ebenfalls sehr gering ist.

Somit sind die Datensätze der Probanden 2 und 14 für die weitere Auswertung ausgeschlossen.



**Abbildung 7.4:** Darstellung des Werts Attention-Ratio aufgeschlüsselt nach den Probanden über den Schwierigkeitsgraden

## Simulatorkrankheit

Die Ergebnisse zur Erfassung der Simulatorkrankheit sind im Anhang in Abbildung 13.2 abgebildet. Der Gesamtindex zeigt, dass ein Proband die Bedingung  $SSQ_{Total} \leq 50$  nicht erfüllt. Bei diesem Proband handelt es sich um Versuchsperson 14. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass der Proband die Nebenaufgabe nicht erfüllen konnte, da er sich gesundheitlich dazu nicht in der Lage fühlte.

Zusammenfassend werden somit die Datensätze der Probanden 2, 6, 7 und 14 ausgeschlossen.

## Hypothesenprüfung: Grundbedingungen Bandbreite (H0a, H0b)

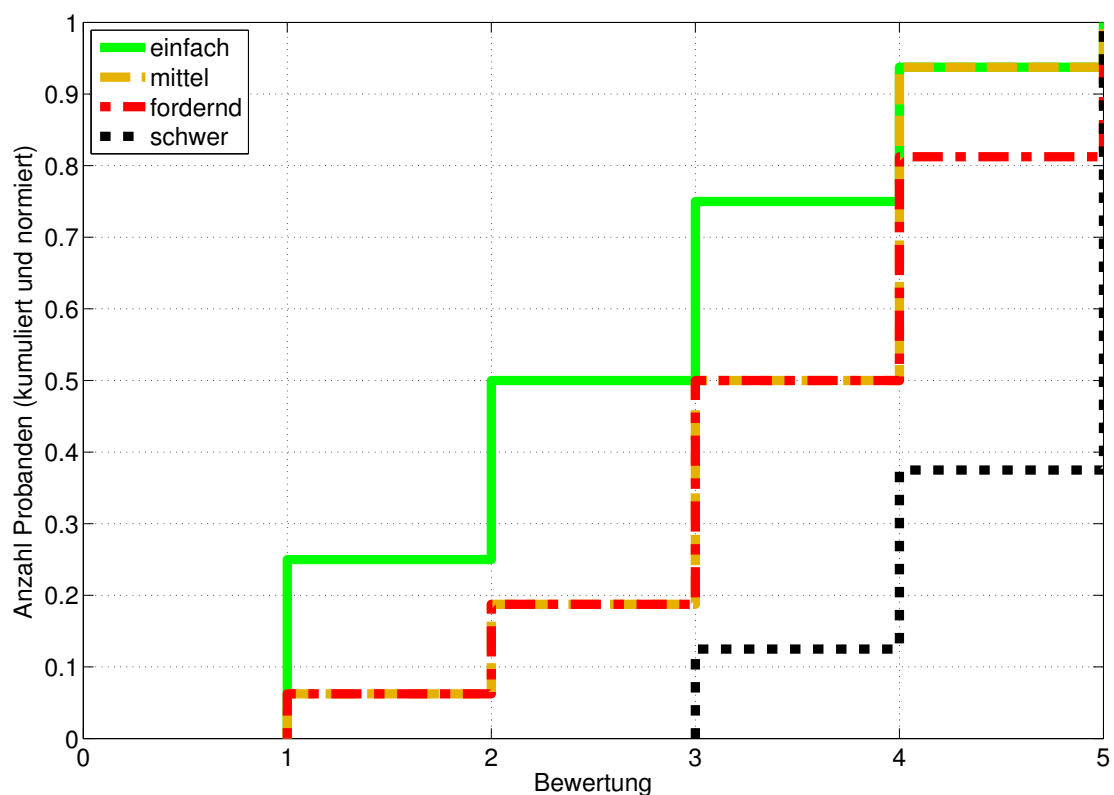
Die Verteilung der richtigen Antworten bei der Bearbeitung des O-1bT über der Schwierigkeit zeigt einen streng monotonen Abfall der Mediane über der Anzahl richtiger Antworten mit steigender Schwierigkeit (siehe Anhang 13.4 Abb. 13.9). Alle Mediane zeigen mindestens signifikante Unterschiede (siehe Tab. 13.1). Wie durch die Wahl der Schwierigkeitsgrade erwartet, fallen die Unterschiede zwischen den Stufen *schwer* und *fordernd* geringer aus als zwischen den restlichen.

Somit ist die erste von zwei Bedingungen der Hypothese *H1a* bestätigt: Der Median der richtigen Antworten in der Nebenaufgabe für die Stufe *einfach* ist signifikant höher als der Median für die Stufe *schwer*.

Außerdem ist die erste Bedingung der Hypothese *H1b* erfüllt: Das Erreichen der Über-

forderung des Probanden durch Fahr- und Nebenaufgabe ist durch eine sinkende Anzahl der erfolgreichen Durchführungen der Nebenaufgabe zu erkennen.

Die subjektive Bewertung der Schwierigkeitsstufen ist in Abbildung 7.5 dargestellt. Entsprechend dem erwarteten Verhalten wird die Stufe *einfach* am geringsten bewertet, die Stufe *schwer* am höchsten und die Stufen für den Bereich Herausforderung (*mittel* und *fordernd*) ordnen sich zwischen den Stufen *einfach* und *schwer* ein. Der Median über der Bewertung der Stufe *schwer* beträgt wie erwartet 5, der Median für die Stufe *einfach* fällt mit dem Wert 2,5 höher aus als angestrebt. Ein möglicher Grund hierfür könnte sein, dass die Fahraufgabe eine größere Beanspruchung hervorruft als erwartet. Mehrere Probanden berichteten außerdem, dass das Zeitintervall zwischen den Anzeigen des Zielobjekts zu groß gewählt wurde, sodass sie sich unter zusätzlicher Anstrengung aktiv merken mussten, wo zuletzt das Objekt innerhalb der Matrix erschienen war.



**Abbildung 7.5:** Selbstberichtete Bewertung der Schwierigkeitsstufen durch die RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung“

Zwischen den Stufen *mittel* und *fordernd* ist kein signifikanter Unterschied feststellbar. Alle anderen Paarungen zeigen mindestens signifikante Unterschiede (siehe Tab. 13.2). Die fehlende Unterscheidbarkeit zwischen den Stufen *mittel* und *fordernd* kann dadurch begründet sein, dass die geringen Unterschiede in der Belastung durch die Nebenaufgabe durch den Mensch nicht wahrnehmbar sind. Hinzu kommt, dass der Mensch, wie bereits erwähnt, nach O'Donnell<sup>4</sup> im Bereich Herausforderung Beanspruchungen nicht differenzieren kann. Außerdem sollte in Betracht gezogen werden, die Unterteilung der Skala zu erhöhen, um eine höhere Auflösung in den Ergebnissen zu erhalten.

<sup>4</sup>O'Donnell/Eggemeier (1986): Workload... S. 42ff.

Da die Stufe *einfach* eine signifikant geringere Bewertung erhält als die anderen Stufen, ist auch die zweite Bedingung der Hypothese  $H1a$  erfüllt, sodass Hypothese  $H0a$  verworfen und **Hypothese  $H1a$  angenommen** wird.

Auch die zweite Bedingung die Hypothese  $H1a$  ist erfüllt, da der Median der Werte zur Beurteilung der Stufe *schwer* den Maximalwert von 5 erreicht. Somit wird Hypothese  $H0b$  verworfen und **Hypothese  $H1b$  angenommen**.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass durch eine Verringerung der Beanspruchung der Stufe *einfach* die Wertebereiche der Bandbreiten für die im Folgenden untersuchten Indikatoren erhöhen könnte.

Da die Grundbedingungen zur Untersuchung der Indikatoren bezüglich der Bandbreite erfüllt sind, erfolgt nun die Prüfung der Hypothese  $H0c$  für die vorausgewählten Indikatoren.

## Hypothesenprüfung: Bandbreite ( $H0c$ ) und Sensitivität ( $H0d$ ) der Indikatoren

### ***EORT / Attention-Ratio***

Da die Nebenaufgabe über die gesamte Messdauer bearbeitet wurde, entsprechen sich die Aussagen der Kennwerte EORT und Attention-Ratio<sup>5</sup>, sodass im Folgenden nur die Auswertung des Indikators Attention-Ratio erfolgt. Dieses Ergebnis ist auf den Indikator EORT direkt übertragbar. Betrachtet man die Verteilung des Kennwerts Attention-Ratio über den Schwierigkeitsgraden, ist ein monotoner Anstieg der Mediane mit zunehmender Schwierigkeit zu erkennen (siehe Abb. 13.10) mit hoch bzw. höchst signifikanten Unterschieden zwischen den vier Schwierigkeitsstufen (siehe Tab. 13.3).

Somit wird die Hypothese  $H0c_{AttentionRatio}$ , dass keine Unterschiede in den Messwerten des Indikators durch Variation der Schwierigkeitsstufen erkennbar sind, verworfen und die **Alternativhypothese  $H1c_{AttentionRatio}$  angenommen**.

Da auch die Stufen *einfach*, *mittel* und *fordernd* hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede aufzeigen, wird die Hypothese  $H0d_{AttentionRatio}$  verworfen und die **Alternativhypothese  $H1d_{AttentionRatio}$  angenommen**.

### ***RALI-Frage Nr.3 „Zeitliche Anforderung“***

Die kumulierten Ergebnisse der Frage zur zeitlichen Anforderung der Nebenaufgabe (siehe Abb. 13.11) zeigen, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen *einfach* bis *mittel* bestehen (siehe auch Tab. 13.4). Die Stufe *schwer* unterscheidet sich höchst signifikant von der Stufe *fordernd* und somit auch von den anderen Schwierigkeitsstufen.

Dass keine Unterschiede zwischen den Belastungsstufen feststellbar sind, könnte wie bei der zuvor ausgewerteten RALI-Frage Nr.6, dadurch bedingt sein, dass die Skala zu grob gewählt wurde oder dadurch, dass der Proband nicht zwischen den Beanspruchungsänderungen im Bereich Herausforderung zu differenzieren vermag.

---

<sup>5</sup>bezogen auf die AOI um die Nebenaufgabenanzeige

Entsprechend dem ermittelten signifikanten Unterschied zwischen den Stufen *einfach* und *schwer* wird die Hypothese  $H0_{c_{RALI3}}$  verworfen und die **Alternativhypothese  $H1_{c_{RALI3}}$  angenommen**.

Da zwischen den Stufen *einfach*, *mittel* und *schwer* keine signifikanten Unterschiede feststellbar sind, wird die **Hypothese  $H0_{d_{RALI3}}$  angenommen**. Somit wird dieser Indikator für weitere Untersuchungen nicht in Betracht gezogen.

## Hypothesenprüfung zur Validität: Einfluss auf die Fahraufgabe (H0e)

### EORT / Attention-Ratio

Wie in Buschle<sup>6</sup> gezeigt wurde, befindet sich das Eye-Tracking-System zur Erfassung der Blickposition nicht im direkten Sichtbereich der Probanden. Eine Änderung des Blickverhaltens ist somit nicht zu erwarten. Auch eine Fehlpositionierung der Kameras, sodass sie in den Sichtbereich des Probanden ragen, würde kein über der Schwierigkeit der Nebenaufgabe veränderliches Blickverhalten bewirken, da die Position unabhängig von der Schwierigkeit ist.

Während der Vorversuche stellte sich heraus, dass das Eye-Tracking-System auf andere Weise den Probanden so beeinflusst, dass seine Fahrleistung beeinträchtigt wird: Sitzt das System nicht bequem unter dem Helm, kann dies zu partiell hohem Druck am Schädel führen, was zu punktuellen Schmerzen sowie Kopfschmerzen und Konzentrationsstörungen führen kann.

Damit dies während der Studie nicht auftritt, wurden zwei Maßnahmen getroffen: Zum einen wurde das Eye-Tracking-Gestell mit zusätzlichem Polstermaterial versehen, um eine gleichmäßigere Kräfteinleitung auf den Schädel zu erreichen. Außerdem wurde der Helm sowie das Eye-Tracking-System bei leichtem Druckgefühl während eines Durchgangs nach der Messung abgezogen und neu ausgerichtet, bis kein Druck mehr zu spüren war. Alle Probanden konnten so ohne nennenswerte Beeinflussung durch das Eye-Tracking-System die Studie durchführen. Die Hypothese  $H0_{e_{Eye-Tracking}}$  wird somit verworfen und die **Gegenhypothese  $H1_{e_{Eye-Tracking}}$  angenommen**.

### ***RALI-Frage Nr.3 „Zeitliche Anforderung“***

Die Beantwortung des RALI-Fragebogens erfolgte nach jeder Versuchsfahrt. Somit ist kein Einfluss abhängig vom Schwierigkeitsgrad der Nebenaufgabe zu erwarten. Deshalb wird für sämtliche Indikatoren in dieser Arbeit, die durch den RALI-Fragebogen erfasst werden, die Hypothese  $H0_{e_{RALI}}$  verworfen und die **Alternativhypothese  $H1_{e_{RALI}}$  angenommen**.

<sup>6</sup>Buschle (2014b): Konstruktion des Grundgestells....

## Hypothesenprüfung zur Validität: Signalverhalten (H0f)

### EORT / Attention-Ratio

Eine Änderung des Prozessschritts der visuellen Verarbeitung hat zur Folge, dass der Indikator Attention-Ratio ansteigt, da durch eine längere mittlere Blickdauer auch die Gesamtblickdauer ansteigt. Somit ist zu erwarten, dass für die Studie zur Untersuchung der Verarbeitung der Indikator Attention-Ratio mit zunehmender Schwierigkeitsstufe ansteigt. Die Messergebnisse des Indikators Attention-Ratio bestätigen dies (siehe Abb. 13.12).

Für den Versuch zur Veränderung der Priorisierung wird erwartet, dass mit zunehmender Priorisierung der Nebenaufgabe, die Blickabwendung vom Verkehrsgeschehen zunimmt. Entsprechend sollte ein Anstieg des Indikators Attention-Ratio über der Schwierigkeit der Nebenaufgabe zu erkennen sein, den die Messergebnisse bestätigen (siehe Abb. 13.13).

Für die Studie zur Variation der Aufmerksamkeitsressourcen ist keine Veränderung des Indikators zu erwarten, da die Blickabwendung vom Verkehr nicht beeinflusst werden sollte. Da die Probanden innerhalb des Messbereichs nahezu durchgängig den Verkehr beobachteten und somit der Indikator EORT konstant null beträgt, sind die Ergebnisse hier nicht visuell dargestellt. Das erwartete Verhalten deckt sich somit mit der experimentellen Beobachtung.

Alle erwarteten Interdependenzen zwischen den Versuchen wurden nachgewiesen. Somit wird die **Hypothese  $H1f_{AttentionRatio}$  angenommen**.

## 7.5 Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl

Die Ergebnisse der Studie zur Detektion sind in Tabelle 7.3 zusammengefasst. Der Indikator RALI-Frage 3 „Zeitliche Anforderung“ hat keine ausreichende Sensitivität aufgezeigt und wird somit zur Beobachtung des Prozessschritts Detektion abgelehnt. Eine erneute Prüfung des Indikators mit feingranularerer Skalierung könnte zu einem gegensätzlichen Ergebnis führen.

Der Indikator Attention-Ratio erfüllt sämtliche über die Hypothesen gestellten Bedingungen zur Beobachtung der visuellen Detektion. Somit wird dieser Indikator bestätigt.

Indikator	Attention-Ratio	RALI-Frage Nr.3
H1a	✓	✓
H1b	✓	✓
H1c	✓	✓
H1d	✓	x
H1e	✓	✓
H1f	✓	✓

**Tabelle 7.3:** Ergebnisse der Studie 1 zu den Hypothesen H1a bis H1f



## 7.6 Kurzfazit

Im Rahmen dieser Studie erfolgte eine Prüfung, ob durch die Indikatoren Attention-Ratio sowie RALI-Frage Nr.3 Änderungen im Prozessschritt der Detektion beobachtet werden können. Die Probanden wurden durch eine Fahraufgabe als auch durch die visuelle Nebenaufgabe 1-back Task belastet. Durch Variation der Nebenaufgabenschwierigkeit erfolgte eine Variation der Belastung im Prozessschritt der Detektion bei den Probanden.

Die Analyse der Indikatoren hat gezeigt, dass von den vorausgewählten Indikatoren der Indikator Attention-Ratio es ermöglicht, den Prozessschritt der Detektion zu beobachten. Der Indikator RALI-Frage Nr.3 zeigt keine ausreichende Differenzierbarkeit der Ergebnisse im Bereich der Herausforderung.

---

## 8 Studie 2: Prozessschritt Verarbeitung

Im Gegensatz zum Prozessschritt Detektion ist der Verarbeitungsprozess oder Erkennungsprozess nicht direkt beobachtbar. Zur indirekten Beobachtung wurden die folgenden Indikatoren vorausgewählt:

- Mean-Glance-Duration
- RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Ablenkung“

### 8.1 Hypothesenformulierung

#### Bandbreite

Die obere sowie untere Grenze des Messbereichs werden durch die folgenden Hypothesen geprüft.

#### ***Übergang zwischen den Bereichen der Unterforderung und Herausforderung***

- H0a: Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Medianen der positiven Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufen *einfach* und *schwer* feststellbar und/oder die Stufe *einfach* wird mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht am geringsten unter allen Stufen bewertet.
- H1a: Der Median der Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufe *einfach* ist signifikant höher als für die Stufe *schwer*. Zusätzlich ist die Bewertung der Stufe *einfach* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ signifikant geringer bewertet als alle anderen Stufen.

#### ***Bereich Überforderung***

- H0b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist nicht durch eine sinkende Leistung in der erfolgreichen Durchführung der Nebenaufgabe zu erkennen und/oder der Proband beurteilt die Stufe *schwer* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht mit dem Maximalwert.
- H1b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist durch eine sinkende Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe

zu erkennen. Zusätzlich bewertet der Proband die RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ mit dem Maximalwert.

Für die oben aufgestellten Hypothesen wird angenommen, dass ein monotoner Verlauf des Indikators zwischen den Schwierigkeitsstufen vorhanden ist. Entsprechend ist zur Bestimmung der Bandbreite die Differenzierbarkeit der Indikatorergebnisse zwischen der geringsten und größten Schwierigkeitsstufe zu beweisen.

- H0c: Es ist kein Unterschied zwischen den Medianen des Indikators über den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* feststellbar.
- H1c: Es sind signifikante Unterschiede zwischen den Medianen des Indikators über den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* feststellbar.

## Sensitivität bzw. Trennschärfe

Zur Prüfung der Sensitivität wird analysiert, ob im Bereich Herausforderung signifikant unterschiedliche Messergebnisse zwischen den Beanspruchungsstufen nachweisbar sind.

- H0d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen ist im Bereich Herausforderung kein streng monotonen Ansteigen oder Abfallen des Indikators nachweisbar.
- H1d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen im Bereich Herausforderung steigen die Mediane des Indikators streng monoton an oder fallen streng monoton ab.

## Validität

### ***Einfluss auf die Fahraufgabe***

Die Erfassung der Indikatoren entspricht dem in Kapitel 7 beurteilten Verfahren. Es ist somit keine erneute Beweisführung nötig, dass kein nachweisbarer Einfluss auf die primäre Fahraufgabe vorhanden ist.

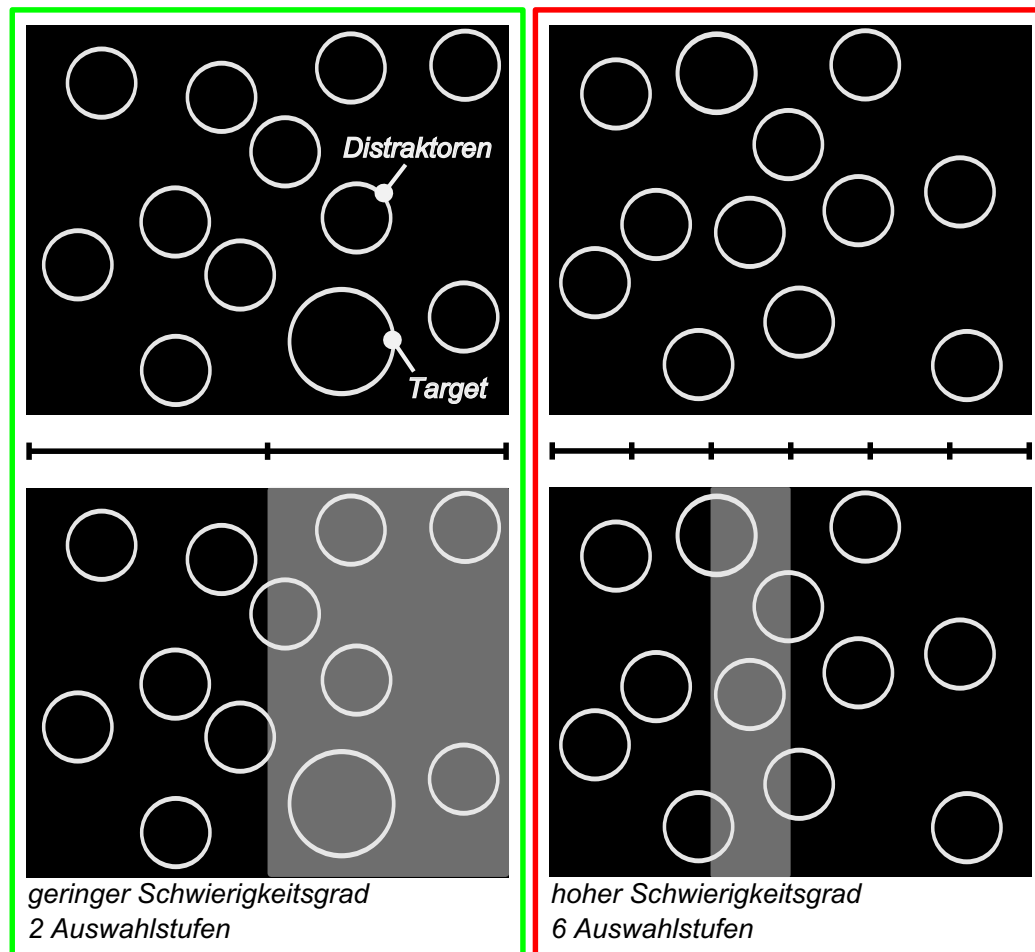
### ***Indikatorenwahl***

Zur Prüfung, ob der Indikator ausschließlich auf Variationen der Belastung im Bereich Verarbeitung reagiert, sind die erwarteten Verläufe des Indikators während der anderen Versuche in Kapitel 8.4 formuliert.

- H0f: Der Indikator zeigt nicht das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Detektion, Priorisierung und Aufmerksamkeitsressourcen.
- H1f: Der Indikator zeigt das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Detektion, Priorisierung und Aufmerksamkeitsressourcen.

## 8.2 Randbedingung: Nebenaufgabe

Die Nebenaufgabe hat die Bedingung zu erfüllen, einstellbar in der Schwierigkeit des optischen Verarbeitungsprozesses zu sein. Dies wird durch den Surrogate Reference Task, kurz SuRT, ermöglicht. Als eine Nebenaufgabe, die in der ISO/TS Norm<sup>1</sup> beschrieben ist, stellt sie eine bewährte Methode dar.



**Abbildung 8.1:** Grundprinzip des Surrogate Reference Task: Gegenüberstellung von einer leichten Aufgabe (links) und einer schweren Aufgabe (rechts)

Das Grundprinzip dieser Entdeckungsaufgabe ist in Abbildung 8.1 dargestellt und besteht darin, dass zwischen einer Vielzahl sogenannter Distraktoren ein Zielobjekt, Target genannt, zu erkennen und zu markieren ist. Die Abbildung ist in einen linken und einen rechten Bereich unterteilt, der jeweils einen anderen Schwierigkeitsgrad darstellt. Nachdem der Proband das Target erkannt hat, besteht seine Aufgabe darin, mittels manueller Eingaben den Markierungsbereich, welcher in der Abbildung als grauer Hintergrund dargestellt ist, zum Target zu bewegen. Dies erfolgt über diskrete Schritte, hier mit zwei Schritten links und sechs Schritten rechts dargestellt. Mittels manueller Bestätigung wählt er das Target final aus. Eine Auswahl wird als richtig gewertet, wenn mindestens die Hälfte der Targetfläche innerhalb des Auswahlbereichs liegt.

<sup>1</sup>ISO/TS 14198:2012 (2012): Road vehicles....

Die Aufgabe wird dem Probanden mittels des in Kapitel 7.2 (Abb. 7.2) vorgestellten, zusätzlich angebrachten Displays gezeigt. Bedingt durch eine beschränkte Displaygröße und -auflösung konnte die in der ISO-Norm vorgeschlagene Anzahl Distraktoren nicht genutzt werden. Eine Reduktion der Distraktorenzahl auf  $n_{\text{Distraktoren}} = 25$  ermöglicht es, alle Distraktoren sowie das Target ohne Überschneidungen darzustellen.



**Abbildung 8.2:** MMC sowie Auswahlknopf zur Bedienung der Nebenaufgabe SuRT

Bedient wird der SuRT durch den MMC des Mock-up am linken Lenkerstummel, siehe Abbildung 8.2. Die ursprüngliche Funktion des MMC, die menübasierte Funktionsauswahl der Motorrad-Funktionen, wird deaktiviert und die Steuersignale neu belegt: Durch Kippen des MMC nach links bzw. rechts wird der Auswahlbereich des SuRT links bzw. rechts neben der Mittelachse des Bildes angezeigt. Erneutes Kippen des MMC in eine Richtung verschiebt den Auswahlbereich in die entsprechende Richtung. Bestätigt wird die Auswahl eines Bereichs durch den in der Abbildung gezeigten Bestätigungsknopf.

## Schwierigkeitsgrade

Mithilfe eines Vorversuchs, an dem  $N = 3$  Probanden teilnahmen, wurden Distraktorengrößen für drei Schwierigkeitsstufen ermittelt, siehe Tabelle 8.1.

Schwierigkeitsgrad	Distraktoren-durchmesser in Pixel	Größenänderung in %	Anzahl der Auswahlbereiche
einfach	149	-	2
mittel	224	50	6
fordernd	233	4	6
schwer	259	11	8

**Tabelle 8.1:** Eigenschaften des SuRT in Abhängigkeit der Schwierigkeitsgrade

Wie für die Untersuchung des Indikators Detektion soll die Schwierigkeitsstufe *einfach*, den Beginn des Bereichs der Herausforderung hin zur Unterforderung testen, die Schwierigkeitsstufen *mittel* und *fordernd* den Bereich der Herausforderung und die Stufe *schwer* den Bereich der Überforderung.

### 8.3 Gültigkeitsbereich der Ergebnisse

Die für diese Studie festgelegten Grenzwerte, innerhalb derer die Messungen Gültigkeit besitzen, sind in Tabelle 8.2 aufgezählt.

Thematik	Messwert	Grenzwert
Primäraufgabe Längsführung	Mittlerer Abstand zum Vordermann	$< 200$ m
Erledigung der Nebenaufgabe	Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben je Schwierigkeit ( <i>einfach</i> und <i>fordernd</i> )	$< 9$
Befinden des Probanden	SSQ Total Score	$< 50$

**Tabelle 8.2:** Grenzwerte zur Sicherstellung der Datenqualität der Studie Verarbeitung

Wie für die Studie der Detektion stellt der Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug ein Qualitätsmaß dar, um Ergebnisse mit einer konstanten Reliabilität zu erhalten.

Zur Überprüfung, ob ein Proband versucht hat, die Nebenaufgabe während der Fahrt durchzuführen, wird vorausgesetzt, dass jeder Proband alle zwanzig Sekunden die gestellte Nebenaufgabe durchführt, sodass bei dreiminütiger Messdauer eine Mindestanzahl von  $n_{\text{Spiele}} \geq 9$  angesetzt wird. Diese Grenze wird nur für den Bereich Herausforderung gesetzt, da die Fahrer stets die Fahraufgabe priorisieren sollen und somit in dem Bereich der Überforderung ein Sinken der Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben erwartet wird.

Die Grenze zur Bewertung der Simulatorkrankheit wird erneut auf  $SSQ_{\text{Total}_{\text{max}}} = 50$  gesetzt.

### 8.4 Auswertung

Im weiteren Verlauf ist die Prüfung der Daten bezüglich der Gültigkeit sowie die daran anschließende Auswertung der Indikatoren dargestellt.

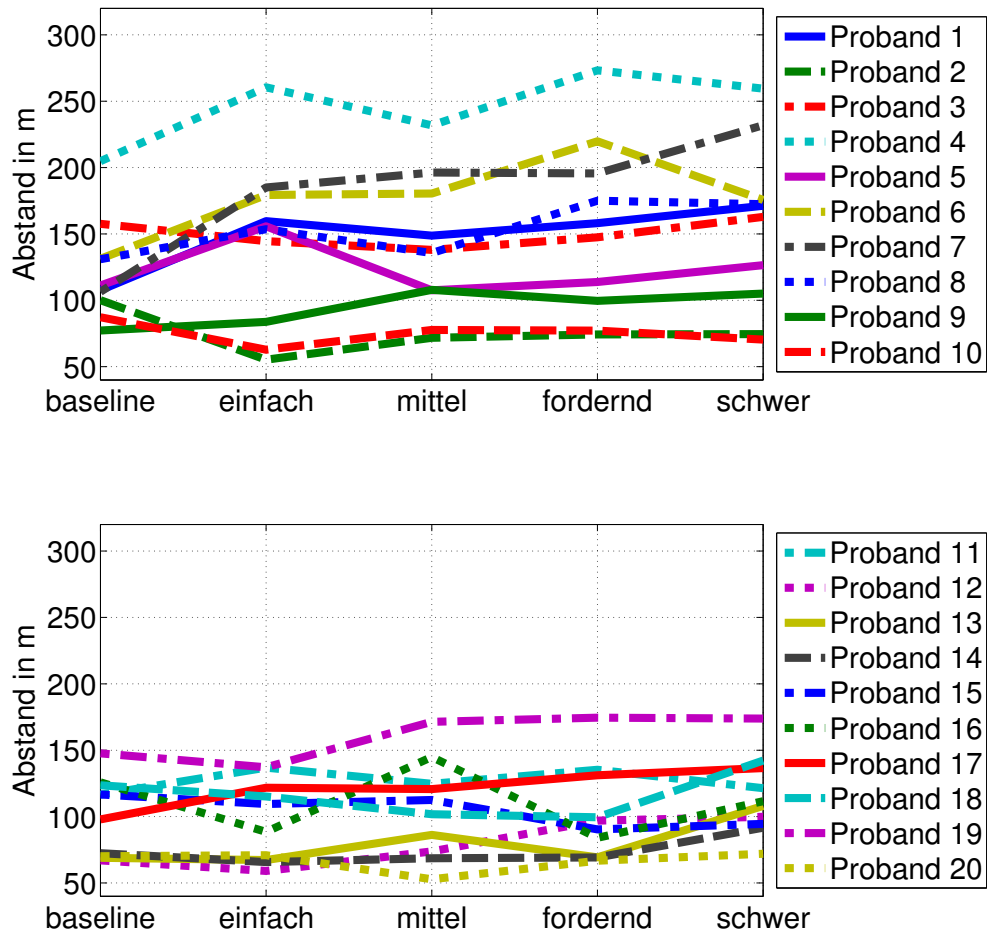
## Prüfung der Gültigkeitsbereiche

### Fahraufgabe

Die Auswertung der Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug, wie in Abbildung 8.3 dargestellt, zeigt, dass die Probanden 4, 6 und 7 die Grenze von  $d_{\text{max}} = 200$  m jeweils während mindestens einem Versuch überschritten haben. Somit sind die Datensätze dieser Probanden von der Auswertung ausgeschlossen.

### Nebenaufgabe

Die Ergebnisse der Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben zeigen keinerlei Unterschreitungen der gesetzten Grenze (siehe Anhang 13.5, Abb. 13.16). Auch die durch einen überhöhten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug aufgefallenen Probanden zeigen keine Unterschiede in der Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben im Vergleich zu den restlichen Probanden.



**Abbildung 8.3:** Darstellung des mittleren Abstands zwischen Probanden- und vorausfahrendem Fahrzeug, aufgeschlüsselt nach den Probanden über den Schwierigkeitsgraden

## Simulatorkrankheit

Die Kennwerte des Simulator Sickness Questionnaire wurden einmalig nach dem Studienblock zwei erhoben. Da neben der Reihenfolge der Schwierigkeitsgrade auch die der Versuchsarten Detektion bzw. Verarbeitung randomisiert wurden, repräsentieren die SSQ-Kennwerte jeweils beide Studien des ersten Studienblocks.

Somit wird wie in der Studie zur Detektion der Proband 14 wegen Verletzung der Bedingung  $SSQ_{Total} \leq 50$  ausgeschlossen. Insgesamt sind somit die Messungen der Probanden 4, 6, 7 und 14 von der folgenden Auswertung ausgeschlossen.

## Hypothesenprüfung: Grundbedingungen Bandbreite (H0a, H0b)

Zur Prüfung der Bandbreite erfolgt die Gegenüberstellung der Anzahl richtiger Auswahlen in der Nebenaufgabe SuRT. Die kumulierten Antworten über den Schwierigkeiten (siehe Abb. 13.17) zeigen höchst signifikante Unterschiede zwischen den Medianen der Stufen *einfach* und *mittel* sowie *fordernd* und *schwer* (siehe auch Tab. 13.5). Keine signifikanten Unterschiede sind zwischen den Stufen *mittel* und *fordernd* nachweisbar.

Somit ist der erste Teil der Hypothese *H1a* erfüllt, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Stufen *einfach* und *schwer* besteht sowie der erste Teil der Hypothese *H1b*, dass mit dem Erreichen der Überforderung die Anzahl erfolgreich durchgeführter Nebenaufgaben sinkt.

Die Untersuchung der Ergebnisse der RALI-Frage Nr.6 zur Bewertung des Aufwands zur Situationsbewältigung zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen *fordernd* und *schwer* (siehe Tab. 13.6).

Die Antwortverteilungen (siehe Abb. 13.18) zeigen, dass der Median der Messwerte in der Schwierigkeitsstufe *einfach* am geringsten ist, aber keinen signifikanten Unterschied zur Stufe *mittel* zeigt. Somit ist der zweite Teil der Hypothese *H1a* nicht erfüllt, sodass die **Hypothese *H0a* angenommen** wird.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass eine weitere Verringerung der Beanspruchung resultierend aus der Nebenaufgabe bei geringster Schwierigkeitsstufe der Nebenaufgabe als nicht realisierbar erscheint. Betrachtet man Abbildung 13.5 im Anhang 13.2, in der die einfachste Stufe des SuRT dargestellt ist, wird klar, dass die Beanspruchung durch den Erkennungsprozess bereits minimal ist. Es ist deshalb davon auszugehen, dass der Median der berichteten Beanspruchung größer eins ist, da die Fahraufgabe eine höhere Grundbeanspruchung erzeugt als erwartet. Um eine weitere Reduzierung der Beanspruchung zu erhalten, wird deshalb empfohlen die Beanspruchung durch die Fahraufgabe zu verringern.

Der Median der Schwierigkeitsstufe *schwer* liegt nicht bei dem Maximalwert, sodass die zweite Bedingung der Gegenhypothese *H1b* nicht erfüllt ist. Somit wird die **Hypothese *H0b* angenommen**. Da der Bereich der Überforderung nicht erreicht wurde, kann in diesem Bereich keine Aussage über das Verhalten der vorausgewählten und im weiteren Verlauf ausgewerteten Indikatoren getroffen werden.

Ein mehrfach genannter Grund, warum die höchste Schwierigkeitsstufe nicht mit dem Maximalwert bewertet wurde, war, dass die Beanspruchung durch den Probanden dosierbar ist, da er selbst entscheidet, wann die nächste Aufgabe gestellt wird. Somit scheint der Zeitdruck, welcher bei der Nebenaufgabe O-1bT vorlag, dazu geführt zu haben, dass die Probanden in den Bereich der Überforderung getrieben wurden.

Es ist zu bezweifeln, dass der Schwierigkeitsgrad der Erkennungsaufgabe in der Stufe *schwer* noch weiter gesteigert werden kann. Während der Trainingsdurchläufe ohne Fahraufgabe konnten fast alle Probanden die Aufgabe anfangs nur nach Aufzeigen des Targets lösen. Es war somit erkennbar, dass die Probanden bereits ohne Fahraufgabe die Nebenaufgabe nur unter hoher Konzentration lösen konnten und eine weitere Annäherung der Target-Form an die Distraktoren nicht zielführend wäre. Dies ist auch an Auszügen aus der Nebenaufgaben-Software zu erkennen, wie sie in den Versuchen im Einsatz war (siehe Abb. 13.5 bis 13.8 im Anhang 13.5).

## Hypothesenprüfung: Bandbreite (*H0c*) und Sensitivität (*H0d*) der Indikatoren

### ***Mean-Glance-Duration***

Der Indikator Mean-Glance-Duration zeigt ein monotonen Ansteigen der Mediane über den Schwierigkeitsstufen (siehe Abb. 13.19). Wobei höchst signifikante Unterschiede zwischen den Stufen *einfach* und *mittel* sowie *fordernd* und *schwer* bestehen (siehe Tab. 13.7). Somit



wird die Hypothese  $H0_{MGD}$  verworfen und die **Gegenhypothese  $H1_{MGD}$  angenommen**.

Kein Unterschied ist zwischen den Stufen *mittel* und *fordernd* erkennbar, sodass die **Hypothese  $H0_{MGD}$  angenommen** wird.

An dieser Stelle seien zwei Ideen angemerkt, um die Sensitivität des Indikators nachzuweisen. Zum einen wurde mit einem Größenunterschied der beiden Targets zwischen den Stufen *mittel* und *fordernd* von circa 4% ein ehrgeiziges Ziel, eine hohe Sensitivität nachzuweisen, angestrebt. Eine Vergrößerung des Unterschieds könnte zu einer positiven Veränderung der Ergebnisse führen. Zum anderen befindet sich die Stufe *einfach* nicht, wie angenommen, im Übergangsbereich zwischen der Unterforderung und der Herausforderung, sondern mehr in Richtung der Überforderung. Da die Ergebnisse dieser Stufe sich signifikant von den restlichen Stufen unterscheiden, kann trotz der fehlenden Unterscheidbarkeit zwischen den Stufen *mittel* und *fordernd* von einem sensitiven Indikator im Bereich Herausforderung gesprochen werden.

### ***RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Anforderung“***

Der Indikator RALI-Frage Nr.1 zeigt höchst signifikante Unterschiede zwischen den Stufen *einfach* und *mittel* sowie *fordernd* und *schwer* (siehe Tab. 13.8), sodass die Hypothese  $H0_{RALI3}$  verworfen und die **Gegenhypothese  $H1_{RALI1}$  angenommen** wird. Da keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stufen *mittel* und *schwer* feststellbar sind, wird die **Hypothese  $H0_{RALI3}$  angenommen**.

Der Median der Stufe *einfach* ist mit dem Wert eins deutlich geringer bewertet worden als die Beanspruchung in dieser Stufe (siehe Abb. 13.20). Dies unterstützt die Vermutung, dass die Belastung durch die Fahraufgabe bereits zu einer Beanspruchung größer dem Wert eins eingeführt hat. Der Median der Stufe *schwer* hingegen wurde mit dem Maximalwert (fünf) höher bewertet als die Gesamtbeanspruchung in der Stufe *schwer*. Eine mögliche Schlussfolgerung unter Einbindung der berichteten Gesamtbeanspruchung ist, dass der Proband trotz maximaler Beanspruchung im Bereich Verarbeitung nicht in den Bereich der Überforderung gelangt, solange kein Zeitdruck in der Erledigung der Aufgabe besteht. Es sei auf die bereits bekannten Probleme des RALI-Fragebogens (siehe Kap. 7.4) verwiesen sowie auf die vorangegangene Diskussion zur Wahl der Schwierigkeitsstufen.

## **Hypothesenprüfung zur Validität: Einfluss auf die Fahraufgabe (H0e)**

Zur Erfassung der hier geprüften Indikatoren wurden dieselben Messmethoden angewandt wie für den Prozessschritt Detektion. Somit werden auch für diese Ergebnisse die **Gegenhypothese  $H1_{eMGD}$  und  $H1_{eRALI1}$  angenommen**.

## Hypothesenprüfung zur Validität: Signalverhalten (H0f)

### Mean-Glance-Duration

Für die Studie zur Untersuchung des Prozessschritts der Detektion wird erwartet, dass sich die mittlere Blickdauer (Indikator MGD) über die Schwierigkeitsgrade im Bereich Herausforderung nicht verändert. Das Blickverhalten im Bereich Überforderung kann nicht vorab bestimmt werden, da dies von der Priorisierung von Fahr- und Nebenaufgabe in diesem Bereich abhängt.

Betrachtet man die Ergebnisse des Indikators Mean-Glance-Duration aus der Studie Detektion (siehe Abb. 13.21), zeigen sich hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen (siehe Tab. 13.9). Gleichzeitig ist zu erkennen, dass der Indikator über die Schwierigkeitsstufen *einfach* bis *fordernd* nur gering mit zunehmender Schwierigkeit steigt (siehe Abb. 13.21).

Anhand nachträglicher Videountersuchungen des Blickverhaltens lässt sich der deutliche Anstieg des Indikators im Bereich Überforderung erklären. Es zeigte sich, dass die Probanden in diesem Bereich zum Teil mehr als einen Nebenaufgabenzyklus mit einer Blickdauer betrachtet haben. Zur Vorauswahl dieses Indikators (Kap. 6.2.1) wurde die Forderung gestellt, dass pro Blick nur eine Positionsinformation der Nebenaufgabe aufgenommen wird, da ansonsten der Indikator Mean-Glance-Duration nicht mehr auf den Verarbeitungsprozess rückschließen lässt. Somit werden die Daten der Schwierigkeitsstufe *schwer* als nicht verwertbar erklärt.

Gleichzeitig lässt sich damit sagen, dass der Anstieg des Indikators Mean-Glance-Duration zum einen durch einen Anstieg der Beanspruchung durch den Prozessschritt Verarbeitung hervorgerufen werden kann, zum anderen durch eine Überforderung im Prozessschritt Detektion.

Auch für die Studie zur Priorisierung lassen sich signifikante Unterschiede zwischen allen Medianen des Indikators Mean-Glance-Duration finden (siehe Tab. 13.10).

	Min. Median	Max. Median	Spannweite der Mediane
Detektion	0,52	0,81 <sup>1</sup>	0,30
Verarbeitung	0,53	1,58	1,04
Priorisierung	0,70	0,86	0,16

<sup>1</sup> Ausschluss der Messdaten der Schwierigkeitsstufe *schwer*, da pro Blick z.T. mehrere Nebenaufgabenzyklen beobachtet wurden

**Tabelle 8.3:** Vergleich der Spannweiten der Mediane zwischen den Studien Detektion, Verarbeitung und Priorisierung

Vergleicht man die Spannweiten der Mediane der Messergebnisse zwischen den Studien für den Indikator MGD (vgl. Abb. 13.21, 13.19, 13.22) und stellt sie in einer Tabelle gegenüber, wie in Tabelle 8.3 geschehen, so ist zu erkennen, dass die Spannweite im Prozessschritt Verarbeitung um das 3,5-fache bzw. 6,5-fache höher ist im Vergleich zu den

Studien der Detektion bzw. Priorisierung.

Es sind somit geringe Interdependenzen des Indikators MGD zwischen den Prozessschritten Detektion sowie Priorisierung zu erkennen, es dominiert jedoch der Prozessschritt Verarbeitung.

Da signifikante Unterschiede in den Studien außerhalb der Studie Verarbeitung nachgewiesen wurden, wird die **Hypothese  $H0f_{MGD}$  angenommen**.

### ***RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Anforderung“***

Der Indikator des RALI-Fragebogens zur visuellen Anforderung zeigt in den Studien zur Detektion und Priorisierung keine signifikanten Unterschiede zwischen den Medianen der Messungen über den Schwierigkeitsstufen (vgl. Abb. 13.23, 13.24 sowie Tab. 13.11 und 13.12). Somit wird die Hypothese  $H0f_{RALI1}$  verworfen und die **Gegenhypothese  $H1f_{RALI1}$  angenommen**.

## **8.5 Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl**

Tabelle 8.4 zeigt die Ergebnisse der Studie zur Verarbeitung in einer Übersicht. Es wurde nicht der gewünschte Beanspruchungsbereich durch die Nebenaufgaben abgedeckt, sodass empfohlen wird, die Versuche mit einer geringeren Beanspruchung für die Stufe *einfach* zu wiederholen. Der Indikator Mean-Glance-Duration wird unter Vorbehalt angenommen. Es gilt den Bereich Herausforderung durch Schwierigkeitsstufen erneut zu prüfen, die einen größeren Belastungsunterschied besitzen.

Auch der Indikator RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Anforderung“ wird angenommen. Es sei angemerkt, dass der Indikator durch seine geringe Auflösung ausschließlich zur Beurteilung größerer Unterschiede anwendbar ist.

Indikator	Mean-Glance-Duration	RALI-Frage Nr.1
H1a	x	
H1b	x	
H1c	✓	✓
H1d	x*	x <sup>#</sup>
H1e	✓	✓
H1f	x°	✓

\* unter Vorbehalt; Optimierungsvorschläge in Kap. 8.4

<sup>#</sup> unter Vorbehalt; Optimierungsvorschläge in Kap. 8.4

° Geringe Interdependenzen zu *Detektion* vorhanden

**Tabelle 8.4:** Ergebnisse der Studie 2 zu den Hypothesen H1a bis H1f

## 8.6 Kurzfazit

Anhand diese Probandenstudie wurde geprüft, ob es möglich ist, den Prozessschritt der Verarbeitung durch die Indikatoren Mean-Glance-Duration oder RALI-Frage Nr.1 zu beobachten. Neben einer konstanten Fahraufgabe, die den Probanden gestellt wurde, erfolgte eine variierte Belastung der Probanden in diesem Prozessschritt mittels der Nebenaufgabe SurRT.

Es zeigte sich, dass die Belastung durch die Nebenaufgabe für die Studie nicht stark genug abgesenkt wurde, sodass für den Bereich niedriger Beanspruchung keine Aussage über die vorausgewählten Indikatoren getroffen werden kann. Die Studienergebnisse zeigen, dass der Prozessschritt durch den Indikator Mean-Glance-Duration mindestens im Bereich Herausforderung bis Überforderung beobachtbar ist, wobei geringfügige Interdependenzen zum Prozessschritt der Detektion feststellbar sind. Durch die geringe Auflösung des Indikators RALI-Frage Nr.1 wird dieser verworfen.

---

## 9 Studie 3: Prozessschritt Priorisierung

Wie die Beobachtung des Prozessschritts der Verarbeitung ist auch die Priorisierung nicht direkt beobachtbar. Während der Vorauswahl sind mehrere Indikatoren gewählt worden, die wie folgt unterteilt untersucht werden:

1. Längsführung
  - Latenz
  - Korrelationshöhe
  - Standardabweichung der Zeitlücke
2. Querführung
  - Standardabweichung der lateralen Position / Anzahl Verlassen des Fahrstreifens
3. Berichtete Ebene
  - RALI-Frage Nr.2 bzw. Nr.4

Zur Untersuchung der Indikatoren werden die folgenden Hypothesen überprüft.

### 9.1 Hypothesenformulierung

#### Bandbreite

Die obere sowie untere Grenze des Messbereichs werden wie folgt bestimmt.

#### ***Übergang zwischen den Bereichen der Unterforderung und Herausforderung***

- H0a: Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Medianen der positiven Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufen *einfach* und *schwer* feststellbar und/oder die Stufe *einfach* wird mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht am geringsten unter allen Stufen bewertet.
- H1a: Der Median der Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufe *einfach* ist signifikant höher als für die Stufe *schwer*. Zusätzlich ist die Bewertung der Stufe *einfach* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ signifikant geringer bewertet als alle anderen Stufen.

## **Bereich Überforderung**

- H0b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist nicht durch eine sinkende Leistung in der erfolgreichen Durchführung der Nebenaufgabe zu erkennen und/oder der Proband beurteilt die Stufe *schwer* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht mit dem Maximalwert.
- H1b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist durch eine sinkende Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe zu erkennen. Zusätzlich bewertet der Proband die RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ mit dem Maximalwert.

Für die oben aufgestellten Hypothesen wird angenommen, dass ein monotoner Verlauf des Indikators zwischen den Schwierigkeitsstufen vorhanden ist. Entsprechend ist zur Bestimmung der Bandbreite die Differenzierbarkeit der Indikatorergebnisse zwischen der geringsten und größten Schwierigkeitsstufe zu beweisen.

- H0c: Es ist kein Unterschied zwischen den Medianen des Indikators über den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* feststellbar.
- H1c: Es sind signifikante Unterschiede zwischen den Medianen des Indikators über den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* feststellbar.

## **Sensitivität bzw. Trennschärfe**

Zur Prüfung der Sensitivität wird analysiert, ob im Bereich Herausforderung signifikant unterschiedliche Messergebnisse zwischen den Beanspruchungsstufen nachweisbar sind.

- H0d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen ist im Bereich Herausforderung kein streng monotonen Ansteigen oder Abfallen des Indikators nachweisbar.
- H1d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen im Bereich Herausforderung steigen die Mediane des Indikators streng monoton an oder fallen streng monoton ab.

## **Validität**

### ***Einfluss auf die Fahraufgabe***

Für die Erfassung der Indikatoren durch den RALI-Fragebogen ist der Beweis bereits erbracht, dass kein Einfluss auf die Fahraufgabe besteht. Die Beweisführung für die Erfassung der restlichen Indikatoren steht noch aus.

- H0e: Die Erfassung des Indikators beeinflusst die Fahraufgabe veränderlich über der Belastungsänderung der Nebenaufgabe.
- H1e: Die Erfassung des Indikators beeinflusst die Fahraufgabe konstant oder gar nicht über der Belastungsänderung der Nebenaufgabe.

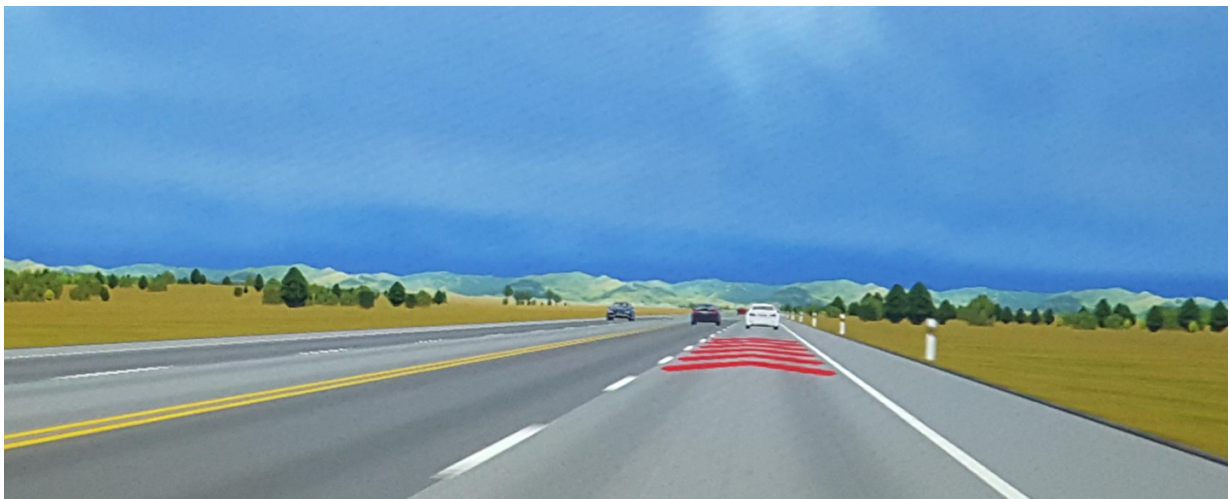
### Indikatorenwahl

Zur Prüfung, ob der Indikator ausschließlich auf Variationen der Belastung im Bereich Verarbeitung reagiert, sind die erwarteten Verläufe des Indikators während der anderen Versuche in Kapitel 9.5 formuliert.

- H0f: Der Indikator zeigt nicht das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Detektion, Verarbeitung und Aufmerksamkeitsressourcen.
- H1f: Der Indikator zeigt das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Detektion, Verarbeitung und Aufmerksamkeitsressourcen.

## 9.2 Randbedingung: Fahraufgabe

An dieser Stelle sei noch einmal darauf hingewiesen, dass im Gegensatz zu den Studien des ersten Blocks in dieser Studie die Belastung durch die Fahraufgabe variiert wird, während die Belastung durch die Nebenaufgabe konstant bleibt. Dieses Vorgehen wird gewählt, um die Priorisierung des Probanden zwischen Fahr- und Nebenaufgabe wie folgt steuern zu können. Der Proband ist angewiesen, die Nebenaufgabe solange höher zu priorisieren als die Fahraufgabe, bis die Abstandsmarkierungen zur Aufforderung einer Abstandsänderung erscheinen. Eine Aufforderung, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu verringern ist in Abbildung 9.1 dargestellt (rote Markierungen auf der Fahrbahn, die zum vorausfahrenden Fahrzeug zeigen). Solange die Abstandsmarkierungen zu sehen sind, ist der Proband angehalten, die Fahraufgabe zu priorisieren und somit zuerst den Sollabstand einzustellen und die Nebenaufgabe in der Zeit zu vernachlässigen.



**Abbildung 9.1:** Abstandsmarkierungen, die den Probanden auffordern, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug zu verringern

### Schwierigkeitsgrade

Der Bereich, in dem der Fahrer die Nebenaufgabe erledigen soll und somit keine visuelle Aufforderung zur Abstandsregelung dargestellt bekommt, variiert über den Schwierigkeitsgraden. Wie in Kapitel 6.4.6, Tabelle 6.4 bereits aufgelistet, wurden mittels einer Vorstudie

mit  $N = 5$  Probanden die folgenden Abstände den drei Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer* zugeordnet:

- einfach: Sollabstand  $100\text{ m} \pm 50\text{ m}$
- mittel: Sollabstand  $100\text{ m} \pm 20\text{ m}$
- schwer: Sollabstand  $100\text{ m} \pm 3\text{ m}$

### 9.3 Randbedingung: Nebenaufgabe

Die Anforderungen an eine optische Nebenaufgabe sind die folgenden:

- Die Nebenaufgabe muss den Fokuspunkt weg vom Folgefahrzeug lenken
- Die Beanspruchung durch die Nebenaufgabe muss der Fahrer während der Fahrt selbst wählen können

Als Nebenaufgabe wird der bewährte SuRT in der Schwierigkeitsstufe *mittel* ausgewählt, da er alle Bedingungen erfüllt. Durch die Wahl dieser Nebenaufgabe erhöht sich die Reliabilität der Messergebnisse, da viele der Probanden den SuRT bereits kennen.

### 9.4 Gültigkeitsbereich der Ergebnisse

Für diese Studie werden die Grenzwerte der Gültigkeit der Datensätze, wie in der Tabelle 9.1 aufgelistet, gewählt.

Thematik	Messwert	Grenzwert
Erledigung der Nebenaufgabe	Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben je Schwierigkeit ( <i>einfach</i> und <i>mittel</i> )	$< 9$
Befinden des Probanden	SSQ Total Score	$< 50$

**Tabelle 9.1:** Grenzwerte zur Sicherstellung der Datenqualität der Studie Priorisierung

Die Anzahl der durchgeführten Nebenaufgaben wird aus der Studie zur Verarbeitung übernommen. Widmet sich der Fahrer nicht ausreichend der Nebenaufgabe, können keine durch eine veränderte Priorisierung verursachten Effekte gemessen werden. Während der Schwierigkeitsstufe *schwer* wird der Fahrer erneut an den Grenzbereich zur Überforderung getrieben. Ein Herunterpriorisieren der Nebenaufgabe auf eine Anzahl Durchführungen kleiner dem festgelegten Grenzwert ist hier zulässig.

Wie für die vorangegangenen Studien werden nur Datensätze von Probanden ausgewertet, die nicht durch Symptome der Simulatorkrankheit beeinflusst werden. Hierzu werden ausschließlich Datensätze von Probanden genutzt, die den Maximalwert des Total Score von  $SSQ_{Total_{max}} = 50$  nicht erreichen.

Die vorangegangenen Studien besitzen zusätzlich einen Grenzwert zur Festlegung des maximal zulässigen Abstands (gemittelt über eine Messfahrt) zum vorausfahrenden Fahrzeug. Da für diese Studie die Abstandsregelung beeinflusst werden soll, stellt diese Größe



keine sinnvolle Grenze dar. Hinzu kommt, dass durch die zusätzliche optische Aufforderung den Sollabstand einzuregeln, keine Extremwerte des Abstands eingenommen werden, wie es in vorherigen Studien der Fall ist.

## 9.5 Auswertung

Im weiteren Verlauf ist die Prüfung der Daten bezüglich der Gültigkeit sowie die anschließende Auswertung der Indikatoren dargestellt.

### Prüfung der Gültigkeitsbereiche

#### Nebenaufgabe

Alle Probanden führten die Nebenaufgabe über den Schwierigkeitsstufen in einem ausreichenden Maß durch. Die Verteilung der Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben je Schwierigkeitsgrad ist im Anhang 13.6 zu finden.

#### Simulatorkrankheit

Die Auswertung des Simulator Sickness Questionnaire ist im Anhang 13.1 in Abbildung 13.3 zu finden. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass alle Probanden innerhalb des vorgeschriebenen Grenzbereichs geblieben sind.

Somit können zur folgenden Auswertung alle Datensätze genutzt werden.

### Hypothesenprüfung: Grundbedingungen Bandbreite (H0a, H0b)

Die Mediane der Anzahl richtiger Auswahlen in der Nebenaufgabe zeigt zwischen den Paarungen *einfach* - *mittel* sowie *mittel* - *schwer* hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede (siehe Tab. 13.13 in Anhang 13.6). Somit sind die ersten Bedingungen der Gegenhypothesen *H1a* und *H1b* erfüllt.

Da die Stufe *einfach* über die RALI-Frage Nr.6 am niedrigsten bewertet wird (siehe Abb. 13.29), ist auch der zweite Teil der Gegenhypothese *H1a* erfüllt, sodass die Hypothese *H0a* verworfen und die **Gegenhypothese *H1a* angenommen wird**.

Die Stufe *schwer* wurde von 40 % der Probanden mit dem Maximalwert bewertet, 8 % der Probanden ordneten der Stufe *schwer* eine niedrige Beanspruchung (mit dem Wert eins) zu. Die zweite Bedingung der Gegenhypothese *H1b* ist nicht erfüllt, sodass die **Hypothese *H0b* angenommen** wird.

### Hypothesenprüfung: Bandbreite (H0c) und Sensitivität (H0d) der Indikatoren

#### Längsführung

Anhand der Ordinalität der Mediane der Indikatoren Latenz und Korrelationshöhe (siehe Abb. 13.30 bzw. 13.31) ist zu erkennen, dass die Mediane nicht über den Schwierigkeits-

stufen monoton abfallen. Da nicht die erwartete Ordinalität erreicht wird, werden die Hypothesen  $H0_{c_{Latenz}}$  und  $H0_{d_{Latenz}}$  **angenommen** sowie die **Hypothesen**  $H0_{c_{Korrelation}}$  und  $H0_{d_{Korrelation}}$  **angenommen**. Diese Indikatoren sind von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen.

Die Signifikanzuntersuchungen (siehe Tab. 13.14) der Ergebnisse des Kennwerts SdZl ist ersichtlich, dass höchst signifikante Unterschiede in den Medianen des Kennwerts zwischen allen Schwierigkeitsstufen nachweisbar sind. Somit werden die Hypothesen  $H0_{c_{SdZl}}$  und  $H0_{d_{SdZl}}$  verworfen und die **Gegenhypothesen**  $H1_{c_{SdZl}}$  und  $H1_{d_{SdZl}}$  **angenommen**.

### Querführung

Der Indikator SDLP (siehe Abb. 13.33) zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen (siehe Tab. 13.15). Somit werden die **Hypothesen**  $H0_{c_{SDLP}}$  und  $H0_{d_{SDLP}}$  **angenommen** und der Indikator im weiteren Verlauf von den Untersuchungen ausgeschlossen.

Da sich der Indikator SDLP im Pkw-Sektor als aussagekräftig erwiesen hat und oft Anwendung findet, stellt sich die Frage, wieso dies für den PTW-Sektor nicht der Fall ist. Hierzu wurden zwei Vermutungen aufgestellt:

1. Die Eigenstabilisierung des PTW und der daraus resultierende Geradeauslauf führt bei Geschwindigkeiten, in denen die Kreiselkräfte dominieren, dazu, dass das Fahrzeug stets einen ausreichenden Geradeauslauf besitzt, sodass die Querführungsqualität durch eine Nebenaufgabe nicht merklich beeinflusst wird.
2. Der Pkw-Fahrer nimmt Richtungsänderungen hauptsächlich durch visuelle Informationen wahr. Somit führt eine Abwendung des Blicks dazu, dass das Fahrzeug von der Solltrajektorie unbemerkt abkommen kann. Der PTW-Fahrer bemerkt eine Richtungsänderung des Fahrzeugs außer durch visuelle Informationen zusätzlich durch ein Rollen des Fahrzeugs und somit über das propriozeptive System. Hierdurch werden Abweichungen auch bemerkt, wenn der Blick nicht auf die Fahrszenerie gerichtet ist.

Dem Effekt der Eigenstabilität wurde im zweiten Versuchsblock versucht entgegen zu wirken, indem die Grundgeschwindigkeit der Folgefahrt um  $\Delta v = 40 \text{ km/h}$  verringert wurde (vgl. Geschwindigkeitsprofile des Vorderfahrzeugs in Abbildungen 6.11). Auch dieses Herabsetzen zeigt keinen Einfluss auf den Indikator SDLP. Eine weitere Verringerung der Geschwindigkeit könnte den Indikator SDLP beeinflussen.

Zur Untersuchung der zweiten Vermutung wird empfohlen, einen Vergleich mittels einer weiteren Simulatorstudie durchzuführen. Hierbei ist der Indikator SDLP mit und ohne physikalische Rollwinkeldarstellung über ein Bewegungssystem zu ermitteln und zu vergleichen.

### Berichtete Ebene

Der Indikator RALI-Frage Nr.2 „Priorisierung der Fahraufgabe“ zeigt keine Unterschiede zwischen den Stufen *einfach* und *mittel* (siehe Tab. 13.16). Zwischen den Stufen *mittel* und *schwer* ist ein signifikanter Unterschied nachweisbar. In Kapitel 6.2.2 wurde gezeigt, dass auch die RALI-Frage Nr.4 zur Systeminterferenz der Nebenaufgabe mit der Fahraufgabe

einen Teilaspekt der Priorisierung aufzeigt. Deshalb sind die Ergebnisse der Signifikanzuntersuchungen ebenfalls in Tabelle 13.16 abgebildet. Die Ergebnisse zeigen dasselbe Verhalten wie die der RALI-Frage Nr.2. Die Verteilungen der Antworten zu Frage Nr.4 sind im Anhang 13.2 in Abbildung 13.38 zu sehen.

Entsprechend den Signifikanzuntersuchungen wird die Hypothese  $H0_{c_{RALI2}}$  verworfen und die **Gegenhypothese  $H1_{c_{RALI2}}$  angenommen**. Da keine Unterschiede im Bereich Herausforderung nachweisbar sind, wird die **Hypothese  $H0_{d_{RALI2}}$  angenommen** und somit auch dieser Indikator für die weiteren Untersuchungen nicht betrachtet.

## Hypothesenprüfung zur Validität: Einfluss auf die Fahraufgabe (H0e)

In Kapitel 7 ist bereits herausgearbeitet, dass die Erfassung der Indikatoren durch den RALI-Fragebogen keinen Einfluss auf die Fahraufgabe besitzt. Die Erfassung der fahrdynamischen Parameter zur Ermittlung der restlichen Indikatoren erfolgt durch das automatisierte Mitprotokollieren der Fahrdaten aus dem Fahrdynamikmodell. Somit ist auch hier kein Einfluss auf die Fahraufgabe möglich. Damit wird die Hypothese  $H0e$  für alle Indikatoren dieser Studie verworfen und die **Gegenhypothese  $H1e$  angenommen**.

## Hypothesenprüfung zur Validität: Signalverhalten (H0f)

### SdZl

Für die Studien zur Detektion, Verarbeitung sowie zu den Aufmerksamkeitsressourcen wird für den Bereich Herausforderung erwartet, dass keine Unterschiede zwischen den Medianen des Kennwerts SdZl feststellbar sind. Durch eine geringere Priorisierung der Fahraufgabe im Bereich Überforderung kann der Wert SdZl für die Schwierigkeitsstufe *schwer* in den genannten Studien ggf. ansteigen.

Die Auswertungen der Verteilungen des Indikators SdZl für die Studien (siehe Abb. 13.35, 13.36, 13.37) zeigen das erwartete Verhalten über alle Schwierigkeitsstufen (siehe auch Tab. 13.17). Die Studien zur Detektion und Verarbeitung zeigen einen signifikanten bzw. stark signifikanten Anstieg des Kennwerts im Bereich Überforderung, dieser ist für die Studie zu den Aufmerksamkeitsressourcen nicht zu erkennen. Der Unterschied in der höheren Priorisierung der Fahraufgabe in der Studie zu den Aufmerksamkeitsressourcen, ist vermutlich durch die Einführung der optischen Hilfestellung zur Abstandseinhaltung begründet (siehe Kap. 6.4.6). Durch den zusätzlichen optischen Hinweis bemerkt der Fahrer auch im Bereich Überforderung, dass er die Fahraufgabe vernachlässigt und priorisiert somit die Fahraufgabe wieder hoch.

Da das erwartete Signalverhalten in allen Studien zu sehen ist, wird die **Gegenhypothese  $H1_{f_{SdZl}}$  angenommen**.

## 9.6 Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl

Die Studie zur Priorisierung hat gezeigt, dass von den vorausgewählten Indikatoren ausschließlich der Indikator SdZl bestätigt werden kann (siehe Tab. 9.2). Die anderen Indikatoren aus dem Bereich der Verhaltensebene zeigen keine über den Schwierigkeitsstufen differenzierbaren Ergebnisse. Der Indikator aus der Berichteten Ebene zeigt Schwächen im Bereich der Sensitivität.

Indikator	Latenz	Korrelations- höhe	SdZl	SDLP	RALI- Frage Nr.2/4
H1a	✓				
H1b	✓				
H1c	x	x	✓	x	✓
H1d	x	x	✓	x	x
H1e			✓		
H1f			✓		

**Tabelle 9.2:** Ergebnisse der Studie 3 zu den Hypothesen H1a bis H1f

## 9.7 Kurzfazit

Die Studie zur Beobachtbarkeit des Prozessschritts der Priorisierung untersuchte mehrere Indikatoren aus dem Bereich der Verhaltensebene (Längs- und Querführungsqualität) als auch die RALI-Frage Nr.2 bzw. Nr.4. Zur Variation der Priorisierung des Fahrers zwischen der Fahraufgabe und der Nebenaufgabe wurde dem Probanden erneut aufgetragen, neben der Fahrzeugführung den SuRT zu bearbeiten. Während die Belastung durch die Nebenaufgabe konstant gehalten wurde, erfolgte eine Variation der Fahraufgabenschwierigkeit, sodass dem Fahrer unterschiedlich viel Zeit blieb, die Nebenaufgabe durchzuführen.

Aus dem Bereich der Verhaltensebene zeigt ausschließlich der Indikator der Standardabweichung der Zeitlücke die erwartete Ordinalität zwischen den Medianen der Ergebnisse. Der Indikator RALI-Frage Nr.2 bzw. Nr.4 zeigt keine differenzierbaren Unterschiede im Bereich der Herausforderung. Somit wird der Indikator der Standardabweichung der Zeitlücke zur Beobachtung der Priorisierung vorgeschlagen.

---

## 10 Studie 4:

# Aufmerksamkeitsressourcen

Die Aufmerksamkeitsressourcen stellen die am schwierigsten zu beobachtende Dimension der hier untersuchten Dimensionen dar, denn sie werden sowohl vom Prozessschritt der Detektion als auch der Verarbeitung genutzt, sodass beide Schritte die Aufmerksamkeitsressourcen aufbrauchen können.

Zur Beobachtung der Aufmerksamkeitsressourcen wurden die folgenden Indikatoren ausgewählt:

1. Pupillometrie
  - Mittlere Pupillenfläche
  - Gesamte Flächenänderung (der Pupille)
  - Aufgabenbedingte Flächenänderung (der Pupille)
2. Berichtete Ressourcennutzung
  - RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“
3. Nebenaufgabenergebnis
  - Anzahl positiver oder negativer Durchführungen der Nebenaufgabe
  - Reaktionszeit

### 10.1 Hypothesenformulierung

#### Bandbreite

Die obere sowie untere Grenze des Messbereichs werden wie folgt bestimmt.

#### ***Übergang zwischen den Bereichen der Unterforderung und Herausforderung***

- H0a: Es ist kein signifikanter Unterschied zwischen den Medianen der positiven Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufen *einfach* und *schwer* feststellbar und/oder die Stufe *einfach* wird mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht am geringsten unter allen Stufen bewertet.
- H1a: Der Median der Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe für die Stufe *einfach* ist signifikant höher als für die Stufe *schwer*. Zusätzlich ist die Bewertung der Stufe *einfach* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ signifikant geringer bewertet als alle anderen Stufen.

## **Bereich Überforderung**

- H0b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist nicht durch eine sinkende Leistung in der erfolgreichen Durchführung der Nebenaufgabe zu erkennen und/oder der Proband beurteilt die Stufe *schwer* mittels der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ nicht mit dem Maximalwert.
- H1b: Das Erreichen der Überforderung des Probanden durch die Fahr- und Nebenaufgabe ist durch eine sinkende Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe zu erkennen. Zusätzlich bewertet der Proband die RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ mit dem Maximalwert.

Für die oben aufgestellten Hypothesen wird angenommen, dass ein monotoner Verlauf des Indikators zwischen den Schwierigkeitsstufen vorhanden ist. Entsprechend ist zur Bestimmung der Bandbreite die Differenzierbarkeit der Indikatorergebnisse zwischen der geringsten und größten Schwierigkeitsstufe zu beweisen.

- H0c: Es ist kein Unterschied zwischen den Medianen des Indikators über den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* feststellbar.
- H1c: Es sind signifikante Unterschiede zwischen den Medianen des Indikators über den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* feststellbar.

## **Sensitivität bzw. Trennschärfe**

Zur Prüfung der Sensitivität wird analysiert, ob im Bereich Herausforderung signifikant unterschiedliche Messergebnisse zwischen den Beanspruchungsstufen nachweisbar sind.

- H0d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen ist im Bereich Herausforderung kein streng monotonen Ansteigen oder Abfallen des Indikators nachweisbar.
- H1d: Durch Erhöhung der Schwierigkeitsstufen im Bereich Herausforderung steigen die Mediane des Indikators streng monoton an oder fallen streng monoton ab.

## **Validität**

### ***Einfluss auf die Fahraufgabe***

Für die Erfassung der vorausgewählten Indikatoren ist der Beweis bereits in den vorangegangenen Studien erbracht worden, dass kein Einfluss auf die Fahraufgabe besteht, sodass die Hypothesen *H0e* für diese Studie entfallen.

### ***Indikatorenwahl***

Zur Prüfung, ob der Indikator ausschließlich auf Variationen der Belastung im Bereich Verarbeitung reagiert, sind die erwarteten Verläufe des Indikators während der anderen Versuche in Kapitel 10.5 formuliert.

- H0f: Der Indikator zeigt nicht das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Detektion, Verarbeitung und Aufmerksamkeitsressourcen.
- H1f: Der Indikator zeigt das erwartete Verhalten bei Belastungsänderungen in den Dimensionen Detektion, Verarbeitung und Aufmerksamkeitsressourcen.

## 10.2 Randbedingung: Fahraufgabe

Die Fahraufgabe entspricht der in Kapitel 9.2 beschriebenen Aufgabe. Im Rahmen dieser Studie wird der Sollabstand konstant auf der Schwierigkeitsstufe *mittel* aus der Studie zur Priorisierung gehalten, sodass ein Sollabstand  $d_{\text{Soll}} = 100 \text{ m} \pm 20 \text{ m}$  vorgegeben wird.

## 10.3 Randbedingung: Nebenaufgabe

An die Nebenaufgabe für diese Studie sind die folgenden Anforderungen formuliert:

- Einstellbare Inanspruchnahme der Aufmerksamkeitsressourcen
- Minimale Beanspruchung des Probanden durch die visuellen Prozessschritte der Nebenaufgabe

Eine Nebenaufgabe, die diese Anforderungen erfüllt, ist der n-back-Task<sup>1</sup> in der Variante des Acoustical n-back Task. Hierbei bekommt der Proband in konstanten Abständen zu einem Zeitpunkt  $t_i$  einen Buchstaben (bzw. eine Zahl o.ä.) genannt, siehe Abbildung 10.1. Die (Neben-)Aufgabe des Probanden besteht darin, den aktuell genannten Buchstaben mit dem  $n$  zurückliegend genannten Buchstaben zu vergleichen. Gleichen sich die Buchstaben, soll der Proband dies durch Betätigung des in Kapitel 8.2 vorgestellten Bestätigungsknopfes anzeigen. Ein Betätigen des Bestätigungsknopfes zu einem Zeitpunkt, in dem der  $n$ -te Vorgänger nicht der aktuellen Ziffer gleicht, wird als Fehler gewertet. Die drei Schwierigkeitsstufen 1-back bis 3-back sind in der Abbildung 10.1 aufgezeigt.

Der Zeitpunkt, zu dem das Betätigen des Bestätigungsknopfes zu einer richtigen Antwort führt, ist durch eine kreisförmige Umrandung des Buchstabens dargestellt. Der dargestellte Pfeil zeigt jeweils auf den richtigen Vorgängerbuchstaben. Für die Schwierigkeit 1-back ist beispielsweise das Bestätigen des Buchstaben „A“ zum Zeitpunkt  $t_6$  richtig, da der Vorgänger (Zeitpunkt  $t_5$ ) ebenfalls ein „A“ war. Auch das mehrfache Betätigen nacheinander, wie in der Schwierigkeit 1-back zu den Zeitpunkten  $t_6$  und  $t_7$ , ist möglich. Wie zu erkennen ist, lässt sich die Schwierigkeit der Nebenaufgabe durch Erhöhen des Abstands  $n$  steigern, da die Anzahl Buchstaben/Ziffern, die im Gedächtnis behalten werden muss, mit zunehmender Anzahl  $n$  ansteigt.

Somit ist die Bedingung erfüllt, dass die Höhe der genutzten Aufmerksamkeitsressourcen einstellbar ist. Da die Nebenaufgabe auf den Probanden rein auditiv wirkt, wird das Blickverhalten nicht beeinflusst, sodass der visuelle Signalverarbeitungsprozess - abgesehen von den beeinflussten Aufmerksamkeitsressourcen - nicht beeinträchtigt wird.

---

<sup>1</sup>Kirchner (1958): Age differences....

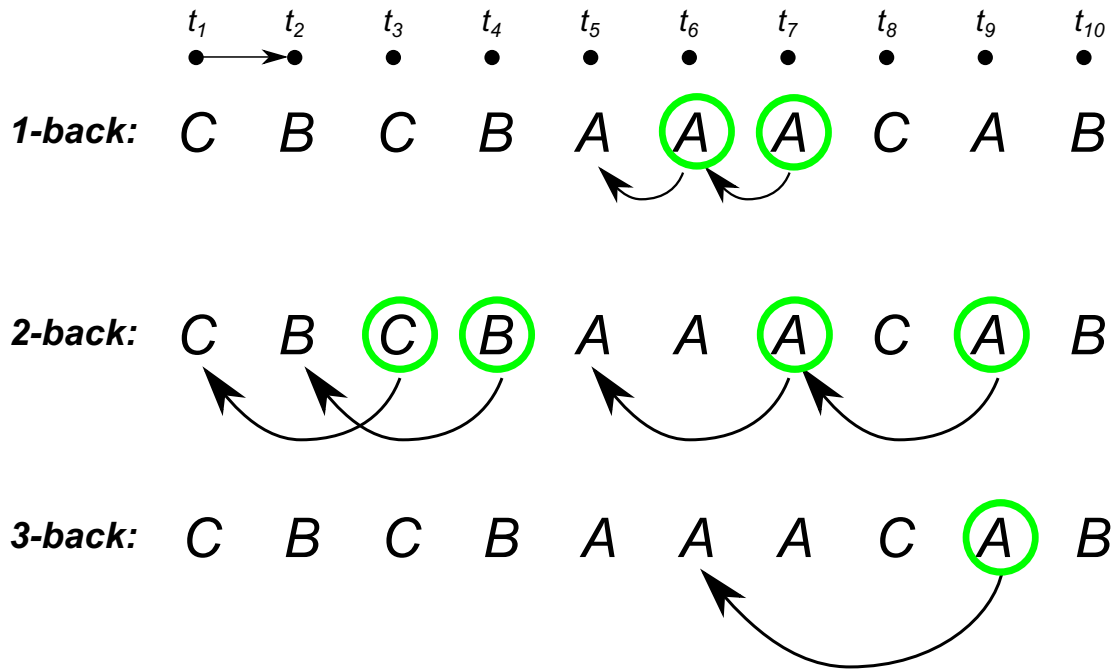


Abbildung 10.1: Prinzip des Acoustical n-back Task

### Schwierigkeitsgrade

Anhand eines Vorversuchs mit  $N = 6$  Probanden zeigte sich die Zuordnung der Beanspruchungen zu den drei Schwierigkeitsstufen, wie hier aufgelistet:

- 1-back: Herausforderung (geringe Beanspruchung)
- 2-back: Herausforderung (hohe Beanspruchung)
- 3-back: Überforderung

Entsprechend werden diese drei Stufen für die Studie gewählt. Die Intervalldauer zwischen zwei genannten Buchstaben wird auf  $\Delta t = 3\text{ s}$  festgelegt und die Anzahl genannter Buchstaben auf  $n_{\text{Gesamt}} = 80$ , sodass sich eine Gesamtdauer der Nebenaufgabe von  $t_{\text{Gesamt}} = 240\text{ s}$  ergibt.

## 10.4 Gültigkeitsbereich der Ergebnisse

Wie für die vorangegangenen Studien erfolgt eine Definition von Grenzwerten, die den Gültigkeitsbereich der Messergebnisse festlegen, siehe Tabelle 10.1.

Die Grenzwerte zur Längsführungsqualität sowie zum Auftreten der Simulatorkrankheit werden aus den vorangegangenen Studien übernommen. Für die erfolgreiche Durchführung der Nebenaufgabe ist ein Mindestwert von 20 % richtiger Antworten festgelegt, da während der Vorversuche festgestellt wurde, dass dieser Wert für die Schwierigkeitsstufen *einfach* und *mittel* von jedem Probanden ohne Mühe erreicht werden konnte, solange sie die Nebenaufgabe nicht ignorierten.



Thematik	Messwert	Grenzwert
Primäraufgabe Längsführung	Mittlerer Abstand zum Vordermann	< 200 m
Erledigung der Nebenaufgabe	Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben je Schwierigkeit ( <i>einfach</i> und <i>mittel</i> )	> 20 %
Befinden des Probanden	SSQ Total Score	< 50

**Tabelle 10.1:** Grenzwerte zur Sicherstellung der Datenqualität der Studie Aufmerksamkeitsressourcen

## 10.5 Auswertung

Im weiteren Verlauf ist die Prüfung der Daten bezüglich der Gültigkeit sowie die anschließende Auswertung der Indikatoren dargestellt.

### Prüfung der Gültigkeitsbereiche

#### Fahraufgabe

Anhand der Auswertung der mittleren Abstände zum vorausfahrenden Fahrzeug in Abhängigkeit der Schwierigkeitsstufe (siehe Abb. 13.40) ist zu erkennen, dass alle Probanden den vorgegebenen Maximalabstand einhielten.

Vergleicht man die hier abgebildeten Ergebnisse mit den mittleren Abständen aus den Versuchen des ersten Studienblocks (Abb. 7.3 und 8.3), ist ersichtlich, dass die eingeführten Abstandsmarkierungen einen deutlichen Effekt in Richtung exakterer Abstandseinregelung des Probanden zum vorausfahrenden Fahrzeug zeigen.

#### Nebenaufgabe

Die Anzahl richtiger Antworten über den Schwierigkeitsgraden, wie in Abbildung 10.2 dargestellt, zeigen, dass alle Probanden für die Schwierigkeitsstufen *einfach* und *mittel* den Mindestprozentsatz richtiger Antworten erreicht haben.

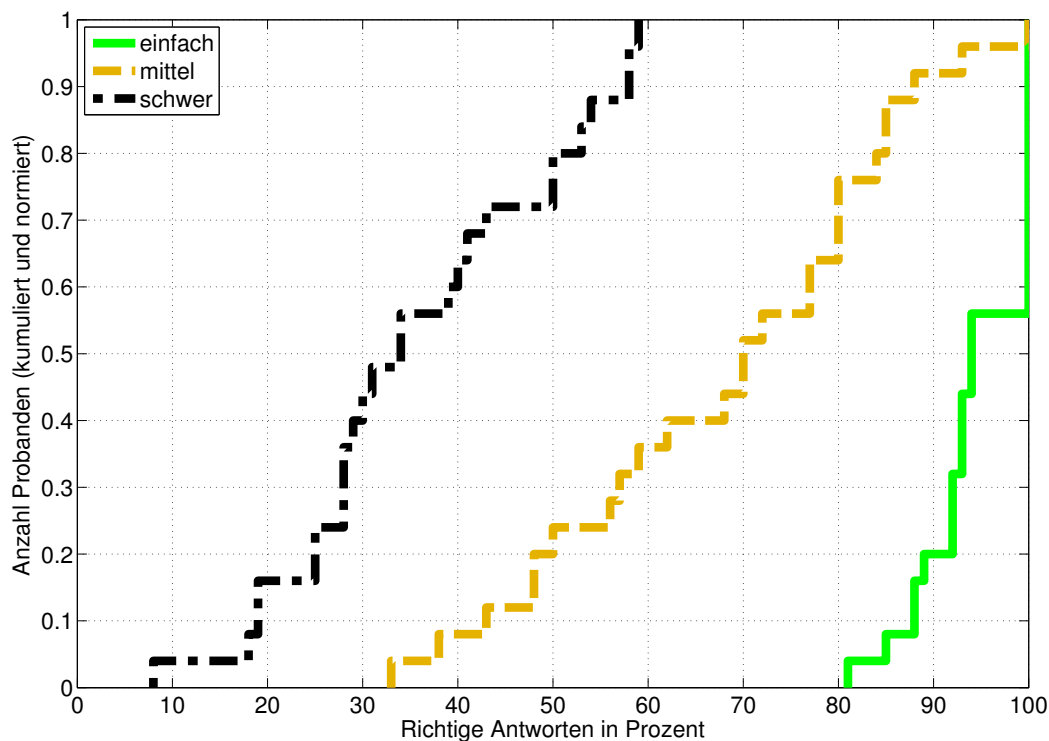
#### Simulatorkrankheit

Da auch während des zweiten Studienblocks der Simulator Sickness Questionnaire nur einmal erhoben wurde, entsprechen die Ergebnisse des SSQ dieser Studie denen der Studie zur Priorisierung. Es sei noch einmal auf die Ergebnisse im Anhang 13.1 in Abbildung 13.3 verwiesen. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass alle Probanden innerhalb des vorgeschriebenen Grenzbereichs geblieben sind.

Somit können zur folgenden Auswertung die Datensätze aller 25 Probanden genutzt werden.

## Hypothesenprüfung: Grundbedingungen Bandbreite (H0a, H0b)

Der prozentuale Anteil richtiger Antworten in der Nebenaufgabe über den Schwierigkeitsgraden ist für die 25 Probanden in Abbildung 10.2 abgebildet. In der Schwierigkeitsstufe *einfach* konnten alle Probanden zu mindestens 80 % richtige Antworten geben. Die Spannweite der mittleren Schwierigkeitsstufen reicht von 33 % bis 100 %, die der Stufe *schwer* von 8 % bis 59 %. Anhand der großen Spannweiten der Stufen *mittel* und *schwer* ist zu erkennen, dass die Belastung der Nebenaufgabe zu unterschiedlich hohen Beanspruchungen des Probanden innerhalb einer Schwierigkeitsstufe geführt hat.



**Abbildung 10.2:** Anzahl richtiger Auswahlen in der Nebenaufgabe n-back Task, dargestellt über der Schwierigkeit

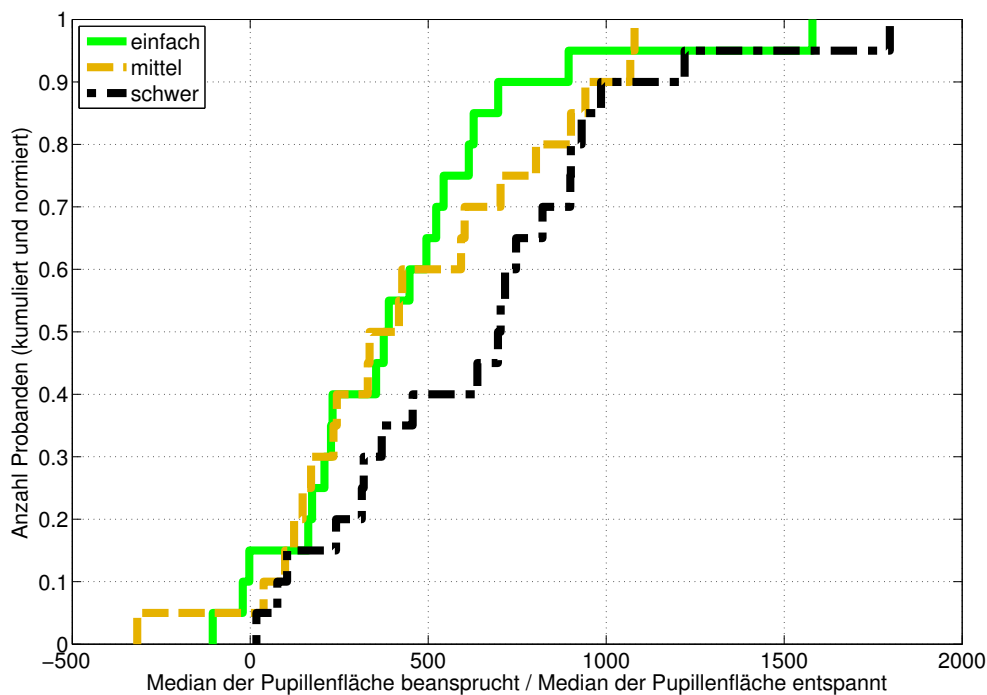
Betrachtet man die Signifikanzuntersuchungen zu den Unterschieden der Mediane zwischen den Schwierigkeitsstufen, so sind zwischen allen Stufen höchst signifikante Unterschiede feststellbar (siehe Tab. 13.18). Somit ist jeweils der erste Teil der Hypothesen *H1a* und *H1b* erfüllt.

Die Antwortverteilung zur RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“ (siehe Abb. 13.41) zeigt zwischen allen Schwierigkeitsgraden höchst signifikante Unterschiede (siehe Tab. 13.18), sodass die Hypothesen *H0a* und *H0b* verworfen und die **Gegenhypothesen *H1a* und *H1b* angenommen** werden.

## Hypothesenprüfung: Bandbreite (H0c) und Sensitivität (H0d) der Indikatoren

### Pupillometrie

Für die Indikatoren der Pupillometrie (MPF, GFP und AFP) ist hier beispielhaft der Indikator AFP in der Abbildung 10.3 dargestellt. Die Indikatoren MPF und GFP zeigen ähnliche Verläufe (siehe Anhang 13.7). Die Mediane der Schwierigkeitsstufen *einfach* und *mittel* zeigen bei allen drei Indikatoren keine signifikanten Unterschiede. Zwischen den Stufen *mittel* und *schwer* konnten signifikante Unterschiede nachgewiesen werden (siehe Tab. 13.19).



**Abbildung 10.3:** Verteilungen des Indikators Aufgabenbedingte Flächenänderung der Pupille über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*

Da jeweils Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen *einfach* und *schwer* für alle drei Indikatoren nachweisbar sind, werden die Hypothesen  $H0_{c_{MPF}}$ ,  $H0_{c_{GFP}}$  und  $H0_{c_{AFP}}$  verworfen und die **Gegenhypothesen  $H1_{c_{MPF}}$ ,  $H1_{c_{GFP}}$  und  $H1_{c_{AFP}}$  angenommen**. Durch die mangelnde Differenzierbarkeit der Messungen im Bereich Herausforderungen werden die **Hypothesen  $H0_{d_{MPF}}$ ,  $H0_{d_{GFP}}$  und  $H0_{d_{AFP}}$  angenommen**. Somit werden die drei Indikatoren MPF, GFP und AFP im weiteren Verlauf nicht untersucht.

### Berichtete Ressourcennutzung

Aus dem Bereich der Berichteten Ebene wurde der Indikator RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“ vorausgewählt. Die Antworten zeigen (siehe Abb. 13.42) höchst bzw. hoch signifikante Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen (siehe Tab. 13.20). Somit werden die Hypothesen  $H0_{c_{RALI5}}$  und  $H0_{d_{RALI5}}$  verworfen und die **Gegenhypothesen  $H1_{c_{RALI5}}$  und  $H1_{d_{RALI5}}$  angenommen**.

## Nebenaufgabenergebnis

Aus dem Bereich der Verhaltensebene wurden die Indikatoren Anzahl positiver bzw. negativer Durchführungen sowie die Reaktionszeit ausgewählt. Die Bewertung des n-back Task fasst, wie in Kapitel 10.3 beschrieben, positive und negative Antworten zu einem Kennwert zusammen, sodass auf die Anzahl falscher Antworten nicht explizit eingegangen wird. Da der n-back Task keine Nebenaufgabe darstellt, die auf die Reaktionsgeschwindigkeit des Probanden abzielt, wird die Reaktionszeit für diese Nebenaufgabe nicht untersucht.

Die Ergebnisse der Probanden dieses Indikators sind bereits in Abbildung 10.2 dargestellt worden. Da zwischen den drei Schwierigkeitsstufen signifikante Unterschiede nachgewiesen wurden, werden die Hypothesen  $H0_{c_{n-Back-Score}}$  und  $H0_{d_{n-Back-Score}}$  verworfen und die **Gegenhypothesen  $H1_{c_{n-Back-Score}}$  und  $H1_{d_{n-Back-Score}}$  angenommen.**

## Hypothesenprüfung zur Validität: Einfluss auf die Fahraufgabe (H0e)

Die vorangegangenen Kapitel haben gezeigt, dass sowohl die Erfassung der Indikatoren durch den RALI-Fragebogen als die über das Eye-Tracking-System gewonnenen Indikatoren keinen Einfluss auf die Fahraufgabe besitzen. Somit wird die Hypothese  $H0e$  für alle Indikatoren dieser Studie verworfen und die **Gegenhypothese  $H1e$  angenommen.**

## Hypothesenprüfung zur Validität: Signalverhalten (H0f)

### RALI-Frage Nr.5

Die Nebenaufgabe O-1bT für die Studie Detektion benötigt mit steigender Schwierigkeitsstufe mehr geistige Ressourcen, da der Fahrer pro Messdauer mit steigender Schwierigkeit mehr Informationen vergleichen muss. Deshalb wird davon ausgegangen, dass die Mediane der RALI-Frage Nr.5 für die Studie Detektion ansteigen.

Durch die Steigerung der Schwierigkeit der Nebenaufgabe SuRT in der Studie zur Verarbeitung wird ebenfalls ein Anstieg der benötigten Aufmerksamkeitsressourcen erwartet, da der Erkennungsprozess mit steigender Schwierigkeit mehr Ressourcen benötigt. Im Gegensatz dazu wird für die Studie zur Priorisierung davon ausgegangen, dass die Aufmerksamkeitsressourcen konstant bleiben, da keine Steigerung eines Schwierigkeitsgrads durchgeführt wurde, sondern lediglich eine Verlagerung der Priorität zur Erledigung von Fahr- und Nebenaufgabe.

Das erwartete Indikatorverhalten spiegelt sich in den Verteilungen der Antworten wider (siehe Abb. 13.43, 13.44, und 13.45). Auch die Signifikanzuntersuchungen zwischen den Schwierigkeitsgraden (siehe Tab. 13.21) zeigen die erwarteten Unterschiede für die Studien zur Detektion, Verarbeitung und Priorisierung.

## Anzahl richtiger Eingaben

Bezüglich der erzielten richtigen Antworten in den Nebenaufgaben wird erwartet, dass diese in allen Studien absinken, wenn mehr Aufmerksamkeitsressourcen benötigt werden. Stehen nicht mehr ausreichend Ressourcen zur Verfügung (Bereich der Überforderung) ist ein stärkeres Abfallen des Indikators zu erwarten als im Bereich der Herausforderung. Während der Studie 3 sollte keine Veränderung im Bereich Herausforderung auftreten, durch die bereits geschilderte gleich hohe Nutzung der Ressourcen. Der Bereich der Überforderung sollte dagegen durch ein Absinken der Anzahl richtiger Antworten zu erkennen sein, da ab dort zusätzliche Ressourcen benötigt werden.

Die Auswertung der Anzahl richtiger Eingaben in der Studie zur Detektion ist in Kapitel 7.4, Abbildung 13.9 zu sehen sowie die entsprechenden Signifikanzuntersuchungen im Anhang in Tabelle 13.1 zusammengefasst. Es ist das erwartete Verhalten zu erkennen, dass ein geringer Einfluss der Nebenaufgabenschwierigkeit im Bereich Herausforderung besteht. Im Bereich der Überforderung fällt die Anzahl richtiger Antworten, wie erwartet, stark ab.

Zur Bewertung der Anzahl richtiger Eingaben für die Studien zur Verarbeitung und Priorisierung werden diese mit der Anzahl der gegebenen Antworten in der jeweiligen Schwierigkeit normiert (siehe Abb. 13.46 und 13.47). Denn durch die Variation der Schwierigkeit führten die Probanden in den verschiedenen Schwierigkeitsstufen die Nebenaufgabe unterschiedlich oft aus, sodass Absolutwerte richtiger Eingaben keine Aussagekraft besitzen. Betrachtet man die Anzahl richtiger Eingaben normiert durch die Gesamtzahl durchgeführter Eingaben für die Studien Verarbeitung und Priorisierung, ist das erwartete Verhalten zu erkennen. Die Anzahl richtiger Eingaben sinkt hoch bzw. höchst signifikant zwischen den Stufen *mittel* bzw. *fordernd* und *schwer* stark ab (siehe Tab. 13.22). Somit wird die **Gegenhypothesen  $H1_{f_{n-Back-Score}}$  angenommen**

## 10.6 Bestätigung / Ablehnung der Vorauswahl

Die Ergebnisse dieser Studie haben gezeigt, dass mit der vorgestellten Versuchskonfiguration durch die Pupillenfläche keine Aussage über die noch verfügbaren Aufmerksamkeitsressourcen im Bereich der Herausforderung getroffen werden können (siehe Tab. 10.2). Die Indikatoren RALI-Frage Nr.5 sowie die Anzahl richtiger Eingaben in der Nebenaufgabe werden zur Beobachtung der Aufmerksamkeitsressourcen angenommen.

Indikator	MPF	GFP	AFP	RALI-Frage Nr.5	Anzahl pos. Durchf.
H1a			✓		
H1b			✓		
H1c	✓	✓	✓	✓	✓
H1d	x	x	x	✓	✓
H1e				✓	✓
H1f				✓	✓

**Tabelle 10.2:** Ergebnisse der Studie 4 zu den Hypothesen H1a bis H1f

## 10.7 Kurzfazit

Die Beobachtbarkeit der Aufmerksamkeitsressourcen wurde an mehreren Indikatoren zur Beschreibung der Pupillenfläche geprüft, anhand der RALI-Frage Nr.5 sowie anhand der Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe. Die Beanspruchung des Probanden erfolgte durch eine Fahraufgabe sowie durch Bearbeitung des n-Back Tasks bei unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden. Eine Variation der Aufgabenschwierigkeit führte zu einer gezielten Änderung in der Nutzung der Aufmerksamkeitsressourcen jedes Probanden.

Es zeigte sich, dass die Indikatoren aus dem Bereich der Pupillometrie nicht ausreichend zwischen den Beanspruchungsgraden differenzieren. Die Indikatoren RALI-Frage Nr.5 als auch die Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe hingegen können beide genutzt werden, um die Aufmerksamkeitsressourcen zu beobachten. Da der Indikator Anzahl positiver Durchführungen die Beanspruchungsdifferenzen feiner differenzieren kann als die RALI-Frage Nr. 5 wird dieser Indikator empfohlen.

---

# 11 Zusammenfassung und erste Anwendung der Indikatoren

## 11.1 Zusammenfassung der Studienergebnisse

Zur abschließenden Zusammenfassung der vier vorgestellten Studien sind die Ergebnisse der Indikatorenauswahl in Tabelle 11.1 aufgelistet. Die Ablehnung des jeweiligen Indikators auf Basis der Bewertungskriterien Bandbreite, Differenzierbarkeit sowie Validität ist mit einem **x** in der Tabelle dargestellt, die Annahme durch das Symbol ✓.

Die Beobachtbarkeit des Prozessschrittes der Detektion ist durch Erfassung des Indikators Attention-Ratio möglich. Für den Indikator RALI-Frage Nr.3 konnte keine ausreichende Differenzierbarkeit der Ergebnisse im Bereich Herausforderung nachgewiesen werden.

Zur Beobachtung des Prozessschrittes der Verarbeitung wurde der Indikator Mean-Glance-Duration bestätigt. Es sei angemerkt, dass eine geringe Interdependenz zu dem Prozessschritt der Detektion nachgewiesen und akzeptiert wurde. Der Bereich der Überforderung wurde durch die höchste Schwierigkeitsstufe bei den meisten Probanden nicht erreicht. Es wurde die Annahme formuliert, dass die Überforderung im Bereich Verarbeitung nur durch zusätzlichen Zeitdruck erreicht werden kann.

Die Beobachtung des Prozessschrittes der Priorisierung erfolgte über den Indikator SdZl. Alle anderen fahrdynamischen Indikatoren zeigten keine differenzierbaren Ergebnisse. Auch die berichtete Bewertung des Priorisierungsprozesses zeigte im Herausforderungsbereich keine signifikanten Unterschiede.

Die Auslastung der Aufmerksamkeitsressourcen lässt sich über die Anzahl positiver Durchführungen einer gestellten Nebenaufgabe beurteilen. Ebenso durch die berichtete Bewertung des Probanden mittels der RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“. Da die Auflösung dieses Indikators durch die Wahl der Skalierung beschränkt ist, wird empfohlen, den Indikator über die Anzahl positiver Durchführungen diesem vorzuziehen. Differenzierbare Ergebnisse der Indikatoren, die sich auf die Änderung der Pupillenfläche beziehen, konnten nicht nachgewiesen werden.

Somit ergibt sich die Auswahl der Indikatoren zu den in Tabelle 11.1 farblich hervorgehobenen.

Prozessschritt	Vorauswahl	Bandbreite	Differenzierbarkeit	Validität
Detektion	Attention-Ratio	✓	✓	✓
	RALI-Frage Nr.3	✓	x	-
Verarbeitung	Mean-Glance-Duration	✓	✓	x*
	RALI-Frage Nr.1	✓	x <sup>#</sup>	✓
Priorisierung	SDLP	x	x	-
	Latenz	x	x	-
	Korrelationshöhe	x	x	-
	RALI-Fragen Nr.2 und Nr.4	✓	x	-
	SdZl	✓	✓	✓
Aufmerksamkeitsressourcen	Mittlere Pupillenfläche	✓	x	-
	Gesamte Flächenänderung	✓	x	-
	Aufgabenbedingte Flächenänderung	✓	x	-
	RALI-Frage Nr.5	✓	✓	✓
	Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgabe	✓	✓	✓

\* geringe Interdependenz zu Prozessschritt Detektion

<sup>#</sup> Skalierungsanpassung der Messskala empfohlen

**Tabelle 11.1:** Ergebnisse der Indikatorenauswahl mittels der vorgestellten Studien



## 11.2 Studie 5: Anwendung der Indikatoren

Eine erste Anwendung der ausgewählten Indikatoren (siehe Kap. 11.1) erfolgt innerhalb einer weiteren Probandenstudie mit  $N = 20$  Probanden. Eine detaillierte Versuchsbeschreibung und Auswertung der Studie ist in der Masterthesis von Parduzi<sup>1</sup> dargestellt. Der Versuch setzt sich aus einer Aufgabe zur visuellen Informationsaufnahme von Bordcomputer-Informationen sowie einer Fahraufgabe zusammen. Im Folgenden wird auf die Versuchskonfiguration und die markanten Ergebnisse eingegangen.

### 11.2.1 Fahraufgabe

Die Studie unterteilt sich in zwei gestellte Fahraufgaben. Neben der bereits erläuterten Fahraufgabe zur Längsführung auf der Strecke NHTSA (siehe Kap. 6.4.6) wird in einem zweiten Versuchsteil zusätzlich eine Querführungsaufgabe gestellt. Die zusätzliche Querführungsaufgabe entsteht dadurch, dass ein kurvigtes Landstraßenszenario als Versuchsstrecke gewählt wird, wie in Kapitel 6.4.3 unter *Landstraße 2* dargestellt. Um sicherzustellen, dass alle Probanden die gleiche Solltrajektorie verfolgen, ist die zu fahrende Solltrajektorie visuell durch eine weiße halbtransparente Linie auf dem Fahrstreifen dargestellt.

### 11.2.2 Nebenaufgabe

Die Nebenaufgabe besteht aus der visuellen Informationsaufnahme von dem bereits vorgestellten Zusatz-Display. Hierbei werden drei unterschiedliche Anzeigekonzepte von Bordcomputer-Informationen miteinander verglichen, siehe Abbildungen 11.1 bis 11.3. Die Konzepte unterscheiden sich darin, dass die gleichen Informationen über eine Textdarstellung, über Symbolik durch Rundinstrumente und über eine Kombination aus Text und einem symbolhaften Motorrad dargestellt sind. Die Stufen werden im weiteren Verlauf kurz mit *Text*, *Rundinstrument* und *Symbol* bezeichnet.

Innerhalb jeder Messfahrt von  $t = 300\text{s}$  werden  $n_{\text{Warnung}} = 20$  Warnungen in zufälligen zeitlichen Abständen ausgegeben. Bei welcher Information der Fehler auftritt, geschieht in zufälliger Sortierung. Hierbei steigt bzw. fällt der jeweilige Wert unterhalb eines Grenzwertes, die dargestellte Information wird rot und blinkt für  $t_{\text{Fehlerdauer}} = 4\text{s}$ . Diese Anzeigedauer wurde mittels einer Vorstudie ermittelt<sup>1</sup>. Der Proband ist angewiesen, das Auftreten eines Fehlers durch das Betätigen der Lichthupe zu bestätigen. Zusätzlich ist er aufgefordert, laut auszusprechen, ob der Wert zu hoch oder zu niedrig ist. Hierdurch wird sichergestellt, dass der Proband auf die dargestellte Information fokussiert und diese verarbeitet und nicht ausschließlich auf einen peripheren Reiz reagiert.

### 11.2.3 Erwartetes Indikatorverhalten

#### Detektion: Attention-Ratio

Wie beschrieben, ist die Anzahl der Fehler je Messfahrt konstant. Somit wird erwartet, dass der Proband unabhängig von der Darstellungsart der Informationen durch das Blinken einer Warnung auf das Zusatz-Display fokussiert. Liegen keine bzw. geringe Unterschiede in der Verarbeitungsdauer der dargestellten Information vor, wird erwartet, dass sich der

---

<sup>1</sup>Parduzi (2016): Fahrdynamik-Optimierung...



**Abbildung 11.1:** Darstellung von Bordcomputer-Informationen mit symbolischen Rundanzeigen



**Abbildung 11.2:** Darstellung von Bordcomputer-Informationen durch Symbolik und Text

Indikator Attention-Ratio nicht zwischen den Darstellungsarten und zwischen den Teststrecken unterscheidet.

### Verarbeitung: Mean-Glance-Duration

Die Informationen durch die Rundinstrumentdarstellung ist durch die Symbolik (voller Kreis versus leerer Kreis) schnell erfassbar im Vergleich zu einer Textdarstellung, da dort vor einer Schlussfolgerung zusätzlich der Zahlenwert interpretiert werden muss (geistiger Vergleich mit Sollwert). Des Weiteren ist vorher das Wort zu lesen, das vor dem Zahlenwert

Kühlmitteltemperatur	20 °C	Öltemperatur	19 °C
Reifenzustand Vorne	2.14 bar	Batteriespannung	13.4 V
Reifenzustand Hinten	2.38 bar	Restreichweite	251 km

**Abbildung 11.3:** Darstellung von Bordcomputer-Informationen durch Text

steht. Die Darstellungsvariante *Symbol* benötigt einen Blick auf das Motorradsymbol und anschließend eine Textinterpretation des dargestellten Werts. Es wird vermutet, dass die Auflösung des Motorradsymbols schneller erfolgt als das Lesen des jeweiligen Wortes in der Darstellungsart *Text*. Somit wird für den Indikator MGD erwartet, dass die Darstellung *Rundinstrument* die kleinsten Werte annimmt und die Darstellungsart *Text* die größten. Die Darstellungsart *Symbol* sollte sich zwischen den Varianten einordnen.

### Priorisierung: SdZI

Die Fehler warnen den Fahrer jeweils mit der gleichen Blinkfrequenz und Warnfarbe. Der Fahrer wird in keiner Darstellungsvariante aufgefordert, die Nebenaufgabe zu priorisieren. Somit wird erwartet, dass der Indikator SdZI konstant über den Darstellungsvarianten und Teststrecken ist.

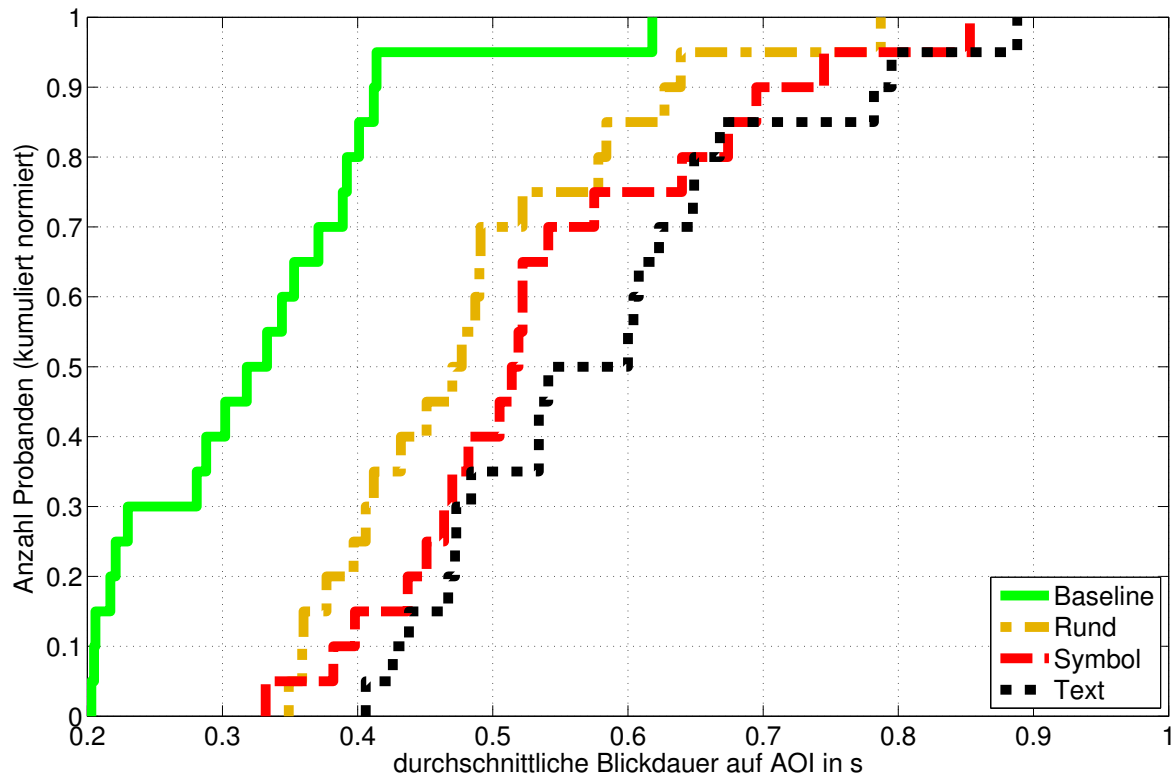
### Aufmerksamkeitsressourcen: Anzahl positiver Durchführungen

Die gestellten Fahraufgaben sowie Nebenaufgaben stellen keine Überforderung der Probanden dar, wie die in Parduzi<sup>1</sup> dargestellte Vorstudie gezeigt hat. Somit wird erwartet, dass die Anzahl positiver Durchführungen der Nebenaufgaben konstant bleibt über den Darstellungsarten und Teststrecken.

## 11.2.4 Ergebnisse

Alle grafischen Auswertungen zu den Indikatoren sowie die Ergebnisse der Signifikanzuntersuchungen sind im Anhang 13.8 zu finden. Wie erwartet, sind keine signifikanten Unterschiede in den Indikatoren Attention-Ratio, SDZL und der Anzahl korrekter Antworten zu erkennen.

Betrachtet man die Verteilungen des Indikators Mean-Glance-Duration in Abbildung 11.4 (Strecke *Landstraße 2*), entspricht das abgebildete Indikatorverhalten ebenfalls dem



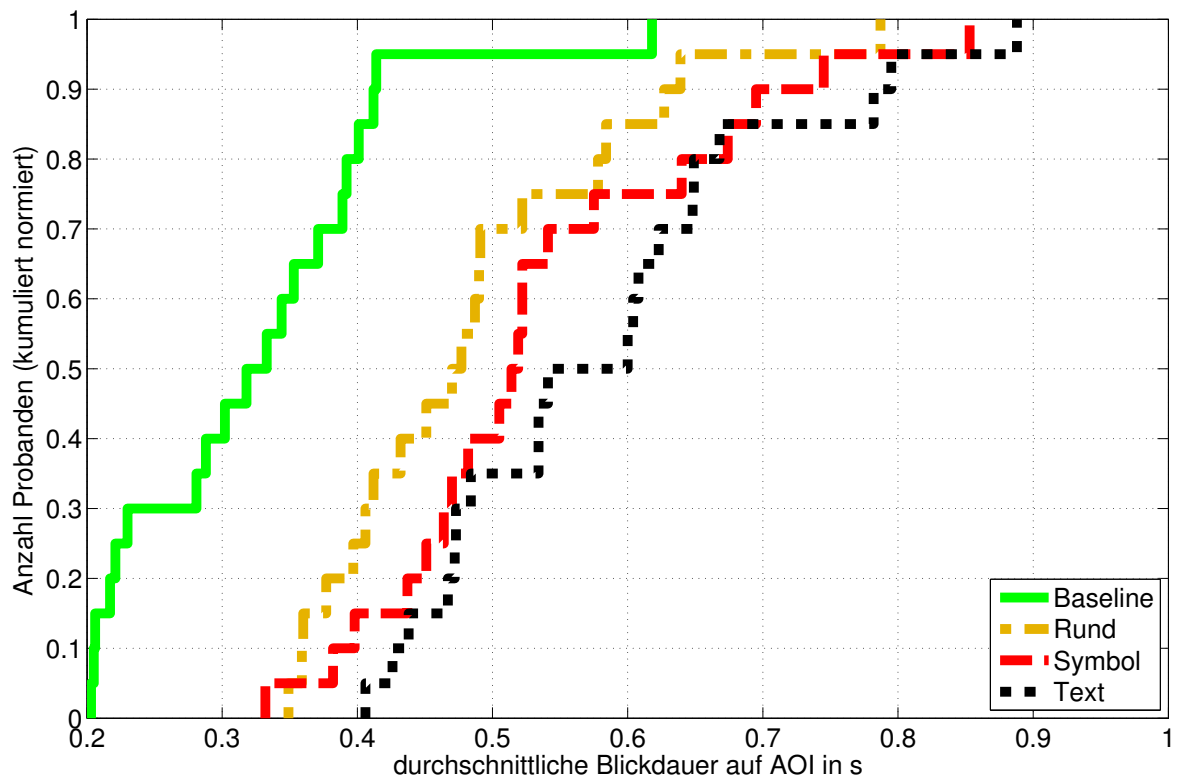
**Abbildung 11.4:** Verteilung des Indikators Mean-Glance-Duration für die Teststrecke *Landstraße 2* über den Anzeigeausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*

erwarteten. Die Darstellungsart *Text* zeigt die höchsten Werte in den Messwertungen, gefolgt von der Darstellung *Symbol*. Die Darstellungsarten weisen hoch bzw. höchst signifikante Unterschiede untereinander auf. Betrachtet man den gleichen Indikator für die Versuchsstrecke *NHTSA* in Abbildung 13.57 (Strecke *NHTSA*), sinken die Signifikanzwerte.

Zwischen der Textdarstellung und der symbolischen Motorraddarstellung ist kein signifikanter Unterschied feststellbar, der Unterschied zwischen den Rundinstrumenten und der symbolischen Motorraddarstellung ist höchst signifikant zwischen der Textdarstellung und den Rundinstrumenten signifikant.

### 11.2.5 Diskussion der Ergebnisse

Die Untersuchungen entsprechen den genannten Erwartungen mit der Ausnahme, dass kein Unterschied des Indikators MGD zwischen den Teststrecken *NHTSA* und *Landstraße 2* erwartet wurde. Es wird vermutet, dass durch die erhöhte Belastung in der Querführungsaufgabe über die Wahl der Strecke *Landstraße 2* eine höhere Differenzierbarkeit der Ergebnisse des Indikators MGD folgt. Eine mögliche Erklärung für dieses Verhalten ist, dass die Verarbeitung der Fahraufgabe und der Nebenaufgabe nicht vollständig unabhängig voneinander sind, obwohl ausreichend Aufmerksamkeitsressourcen zur Verfügung stehen. Hierdurch verlängert sich die Verarbeitung der Nebenaufgabe, sodass die Unterschiede zwischen den Konzepten stärker differenzierbar sind.



**Abbildung 11.5:** Verteilung des Indikators Mean-Glance-Duration für die Teststrecke *Landstraße 2* über den Anzeigeausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*

### 11.2.6 Kurzfazit

Mittels dieser Studie erfolgte ein Vergleich von drei Darstellungsvarianten gleicher visueller Informationsinhalte. Die Inhalte wurden symbolisch, durch Text und durch eine Mischform aus Text und Symbolik dargestellt. Erwartet wurde ein Unterschied im Bereich Verarbeitung, da der Korrelationsprozess bei symbolischer Informationsdarstellung als kürzer eingeschätzt wird im Vergleich zu einer Textdarstellung. Der Indikator Mean-Glance-Duration stellte sich in einer der vorangegangenen Studien als Indikator heraus, um den Prozessschritt der Verarbeitung zu beobachten.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen die erwarteten Differenzen anhand signifikanter Unterschiede des Indikators Mean-Glance-Duration zwischen den drei Darstellungsvarianten. Die Indikatoren zur Beobachtung der restlichen Prozessschritte sowie der Aufmerksamkeitsressourcen zeigen, wie erwartet, keine signifikanten Unterschiede. Somit wird der Indikator Mean-Glance-Duration anhand der Anwendungsstudie bestätigt.

---

## 12 Zusammenfassung

Zu Beginn der Arbeit erfolgte eine Recherche zu Definitionen von Fahrsicherheit. Es zeigte sich, dass zurzeit keine Definition von Fahrsicherheit vorhanden ist, die den Einfluss von Anzeige Konzepten explizit nennt. Deshalb wurde folgende Definition von Fahrsicherheit in Bezug auf die Nutzung von Anzeige Konzepten während der Motorradfahrt als Arbeitsgrundlage ausgearbeitet:

*Die Fahrsicherheit bei der Nutzung eines ABk ist nicht durch dieses beeinträchtigt, wenn ein Fahrer nur so viele visuelle Informationen bereitgestellt bekommt, dass er auf kritische Situationen zu jeder Zeit adäquat reagieren kann.*

Auf dieser Grundlage wurde in Kapitel 3.2 der Einfluss von Anzeige Konzepten auf den Fahrer und im Speziellen auf den visuellen Informationsverarbeitungsprozess des Fahrers untersucht. Das Ergebnis der Analyse stellt die Forderung dar, dass Indikatoren zur Beobachtung der Prozesse Detektion, Verarbeitung, Priorisierung, Ausführung und den Aufmerksamkeitsressourcen gefunden werden müssen, um sicherzustellen, dass alle Einflüsse von Anzeige Konzepten auf den Fahrer erfasst werden. Im nächsten Schritt erfolgte eine Recherche, mithilfe welcher bekannten Richtlinien und dort definierten Indikatoren diese Schritte beobachtbar sind.

Da bereits mehrere Richtlinien für den Pkw-Sektor existieren und Anwendung finden, erfolgte in Kapitel 4 eine Untersuchung, ob diese Richtlinien auf den PTW-Sektor übertragbar sind. Es zeigte sich, dass die genannten Richtlinien für alle zu überwachenden Prozessschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen Indikatoren vorschlagen. Jedoch kann der Beurteiler zwischen verschiedenen Versuchskonfigurationen wählen, in denen jeweils nur eine Untermenge der Indikatoren geprüft wird. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien haben gezeigt, dass für den PTW-Sektor die gewählten Indikatoren zum Teil unabhängig voneinander sind, sodass die Erfassung aller ausgewählten Indikatoren notwendig ist, um bereits geringfügige Einflüsse auf die Fahrsicherheit durch Anzeige Konzepte detektieren zu können. Somit erfolgt durch keine der Versuchskonfigurationen aus den aktuellen Richtlinien eine vollständige Prüfung der Prozessschritte sowie der Aufmerksamkeitsressourcen für den PTW-Sektor. Zur Bewertung von Anzeige Konzepten sind in den vorhandenen Richtlinien feste Grenzwerte für die Indikatoren zur Annahme oder Ablehnung eines Anzeige Konzepts aufgeführt. Alternativ besteht die Möglichkeit, gemessene Indikatorwerte mit Werten aus einer Benchmark-Fahrt zu vergleichen. Wie durch einen Vergleich der psychischen und physischen Beanspruchungen während PTW- und Pkw-Fahrten herausgearbeitet wurde, wird eine Übertragung beider Beurteilungswege (Benchmark-Test bzw. Übernahme der Grenzwerte) nicht empfohlen.

Die Beanspruchung von PTW-Fahrern reicht abhängig von der Fahrsituation von Unterforderung bis Überforderung, sodass ein PTW-Fahrer bereits ohne Bedienung eines ABk überfordert werden kann. Um dennoch eine Bewertung von Anzeige Konzepten zu ermöglichen, wurde für diese Arbeit ein Vorgehen zum relativen Vergleich von zwei Anzeige Konzepten erarbeitet, sodass die Beanspruchungsänderung durch den Wechsel eines

Anzeigekonzepts beobachtbar wird. Durch die Beobachtung der Prozessschritte sowie der Aufmerksamkeitsressourcen entsteht somit ein mehrdimensionaler relativer Vergleich.

Im nächsten Schritt erfolgte eine Erarbeitung der folgenden Auswahlkriterien zur Findung von Indikatoren für den PTW-Sektor:

1. Anforderungen an die Messumgebung
2. Einfluss auf die Fahraufgabe
3. Bandbreite
4. Sensitivität
5. Validität

Es wurde gezeigt, dass die Wahl des Indikators zu Anforderungen an die Messumgebung führt und umgekehrt. Deshalb erfolgte eine Vorauswahl aus den recherchierten Indikatoren anhand der zur Verfügung stehenden Messumgebung. Somit stellt die Vorauswahl und die anschließende Auswahl eine Möglichkeit unter vielen dar, die Prozessschritte und die Ressourcen zu beobachten.

Die Kapitel 7 bis 10 untersuchten die vorausgewählten Indikatoren bzgl. ihres Vermögens, die Prozessschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen zu beobachten. Hierzu erfolgten Untersuchungen, innerhalb welcher Beanspruchungsbereiche der jeweilige Indikator differenzierbare Ergebnisse zeigt (Bandbreite), wie feingranular gegenüber Änderungen der Beanspruchungen unterschieden wird (Sensitivität) und ob der Indikator auch durch Änderungen in anderen Prozessschritten oder den Ressourcen beeinflusst wird (Validität). Eine Übersicht der Ergebnisse für alle vorausgewählten Indikatoren ist in Tabelle 12.1 dargestellt.

Prozessschritt	Auswahl
Detektion	Attention-Ratio
Verarbeitung	Mean-Glance-Duration
Priorisierung	SdZl
Aufmerksamkeitsressourcen	Anzahl positiver/negativer Durchführungen der Nebenaufgabe

**Tabelle 12.1:** Ausgewählte Indikatoren zur Beobachtung der Prozessschritte Detektion, Verarbeitung und Priorisierung sowie der Aufmerksamkeitsressourcen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Prozessschritte einzeln beobachtbar sind und die Indikatoren außer den erwarteten Interdependenzen differenzierbare Ergebnisse zwischen den Prozessschritten aufzeigen. Somit ist eine vollständige Prüfung der Fahr-sicherheit bzgl. des Einflusses von Anzeigekonzepten nur gegeben, wenn alle genannten Prozessschritte und die Aufmerksamkeitsressourcen beobachtet werden.

Den Abschluss der Arbeit bildet eine erste Anwendung der Indikatoren. Innerhalb einer Studie erfolgte der Vergleich von drei Bordcomputer-Anzeigekonzepten. Die vermuteten Unterschiede im Prozessschritt Verarbeitung zwischen den Konzepten wurden erfolgreich

nachgewiesen. Wie erwartet, zeigt sich zwischen den restlichen Prozessschritten sowie den Aufmerksamkeitsressourcen kein Unterschied zwischen den Anzeigevarianten. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass die Wahl einer anspruchsvolleren Fahraufgabe die Sensitivität des Indikators Mean-Glance-Duration erhöht.

Somit erfolgte eine erste Bestätigung zur Anwendbarkeit der Indikatorenwahl.

### 12.1 Ausblick

Es wird empfohlen, weitere Anwendungsstudien durchzuführen, wie zuletzt zum Vergleich der Bordcomputer-Informationen beispielhaft gezeigt wurde, um auch die restlichen Indikatoren zu bestätigen. Hierbei besteht die Möglichkeit, den Einfluss der Beanspruchung durch die Fahraufgabe zu analysieren. Von besonderem Interesse ist der Zusammenhang zwischen der Beanspruchung des Probanden und einer potentiell steigerbaren Sensitivität der jeweiligen Indikatoren.

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte ausschließlich eine Betrachtung von Anzeigeelementen. Auch die Ausführungsarten von Bedienelementen nehmen zu, sodass eine entsprechende Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Bedienelemente auf die Fahrsicherheit eine sinnvolle Ergänzung darstellt.

Während der Untersuchungen wurde gezeigt, dass Änderungen der Messumgebung Einfluss auf die Indikatoren besitzen können. Neben den vorgeschlagenen Indikatoren und der vorgestellten Messumgebung sollten somit Mindestanforderungen an eine Messumgebung definiert werden, sodass die mit der jeweiligen Messumgebung gewonnenen Ergebnisse als valide angenommen werden können.



---

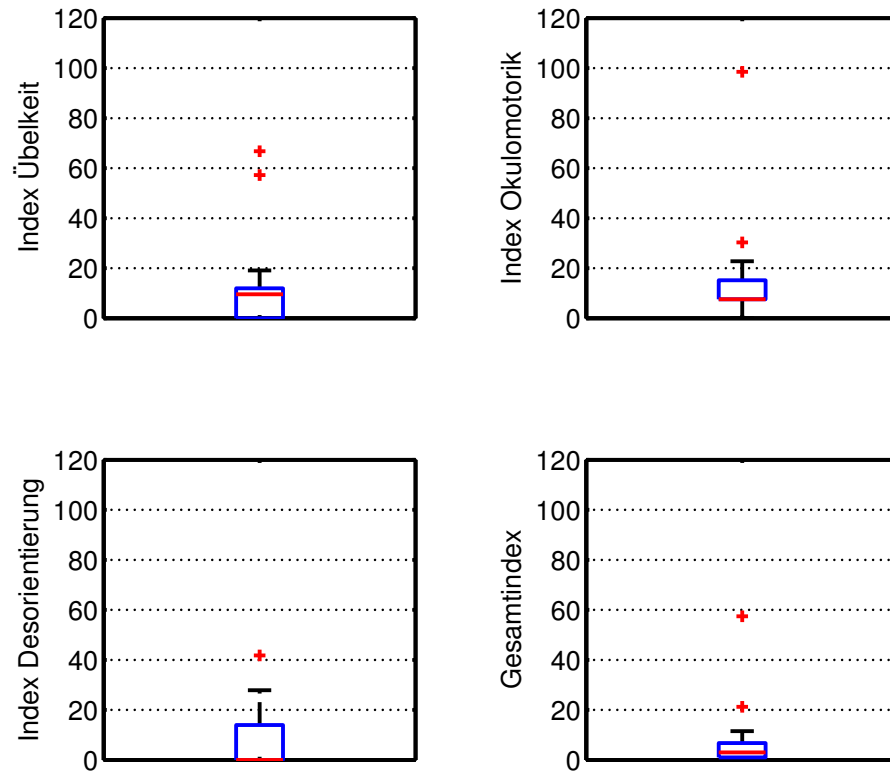
# 13 Anhang

## 13.1 Simulator Sickness Questionnaire

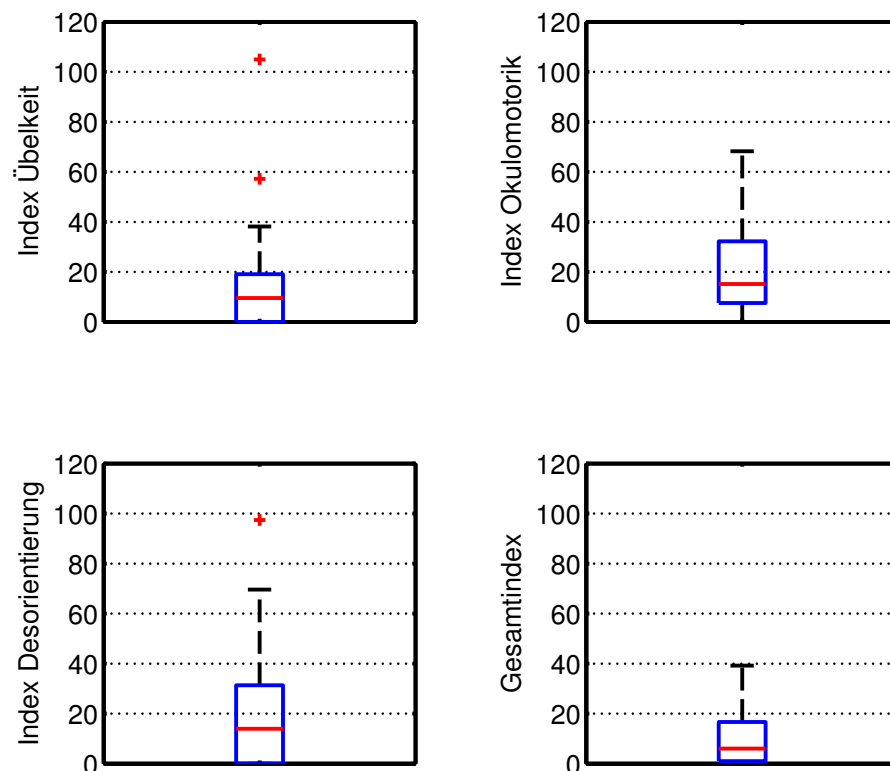
**\* Symptome der Simulatorkrankheit, die während der Fahrt aufgetreten sind:**

	Kein	Leicht	Moderat	Stark
Generelles Unbehagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ermüdung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kopfschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Augenschmerzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwierigkeiten bei Fokussierung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erhöhter Speichelfluss	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwitzen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Übelkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Konzentrationschwierigkeiten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eingeschränkte Aufnahmefähigkeit	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Verschwommene Sicht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel bei offenen Augen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Schwindel bei geschlossenen Augen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Orientierungsverlust	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Magenbeschwerden (verminderte Übelk.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 13.1: Fragebogen: Simulator Sickness Questionnaire



**Abbildung 13.2:** Indizes Übelkeit, Okulomotorik, Desorientierung sowie Gesamtindex des Simulator Sickness Questionnaire - Ergebnisse des Versuchsblocks 1



**Abbildung 13.3:** Indizes Übelkeit, Okulomotorik, Desorientierung sowie Gesamtindex des Simulator Sickness Questionnaire - Ergebnisse des Versuchsblocks 2

## 13.2 Rider Activity Load Index (RALI)

	Niedrig 0	1	2	3	4	Hoch 5
Visuelle Anforderung der Nebenaufgabe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Auditive Anforderung der Nebenaufgabe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zeitliche Anforderung der Nebenaufgabe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Systeminterferenz (Beeinflussung der Fahraufgabe durch Nebenaufgabe)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Benötigte Aufmerksamkeit für die Nebenaufgabe	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Nötiger Aufwand zur Situationsbewältigung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Situationsbedingter Stress	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Negative Emotionen bei der Fahrzeughandhabung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Abbildung 13.4: Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index

### 13.3 Surrogate Recognition Task

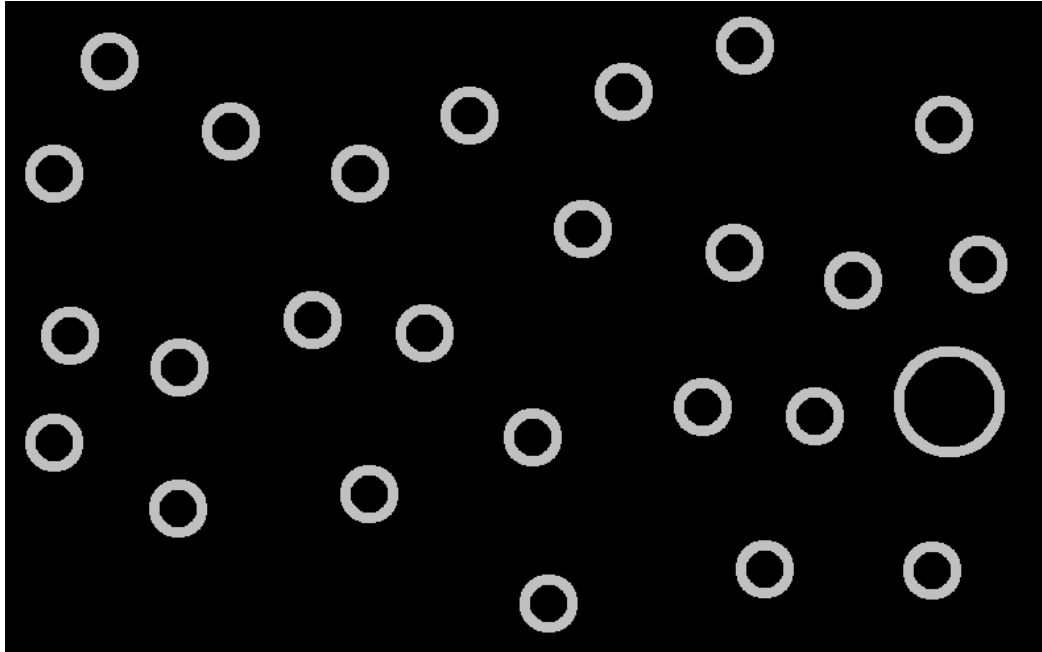


Abbildung 13.5: Schwierigkeitsgrad einfach des SuRT

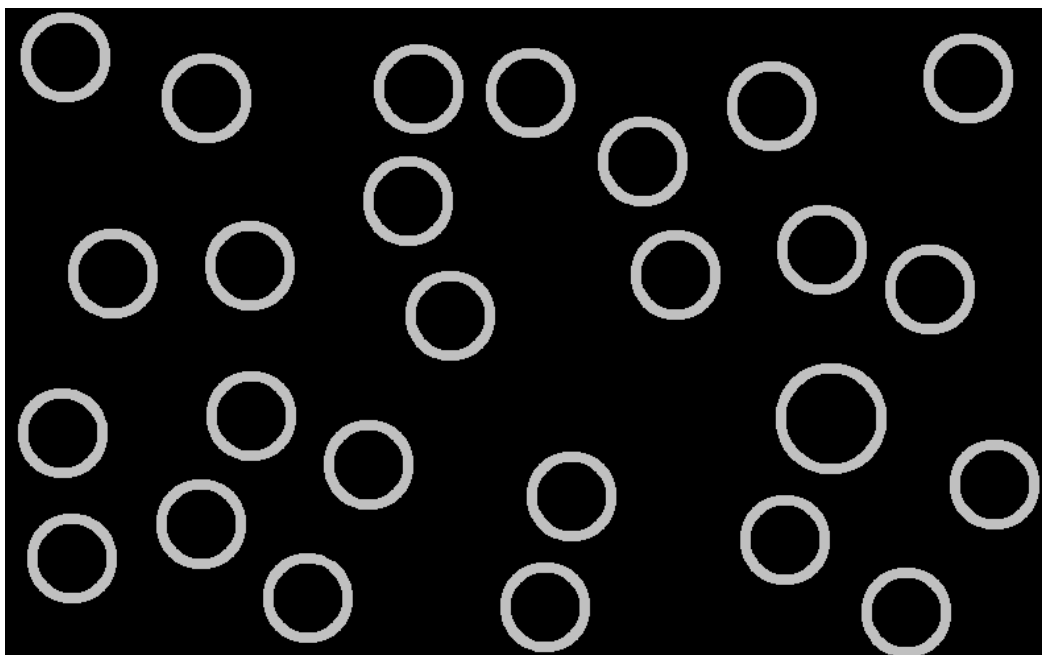


Abbildung 13.6: Schwierigkeitsgrad mittel des SuRT

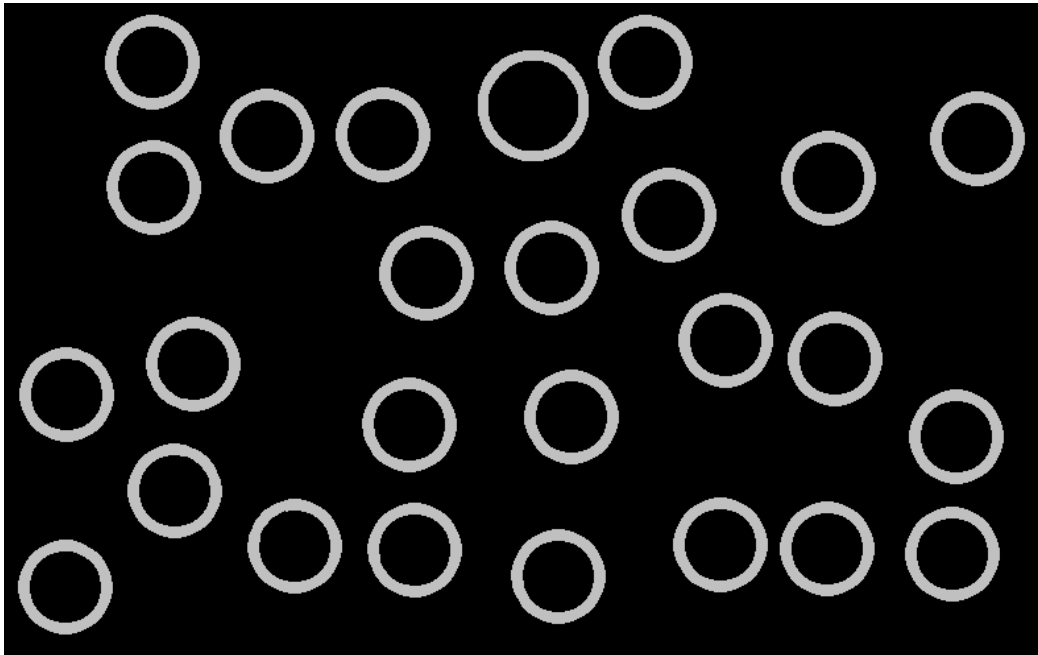


Abbildung 13.7: Schwierigkeitsgrad fordernd des SuRT

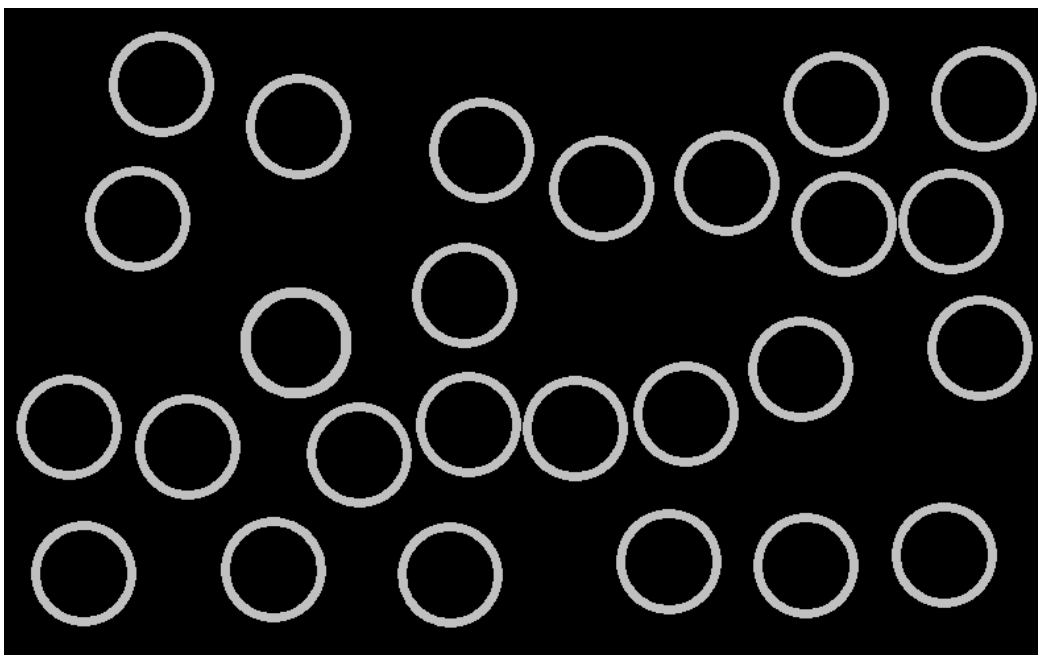
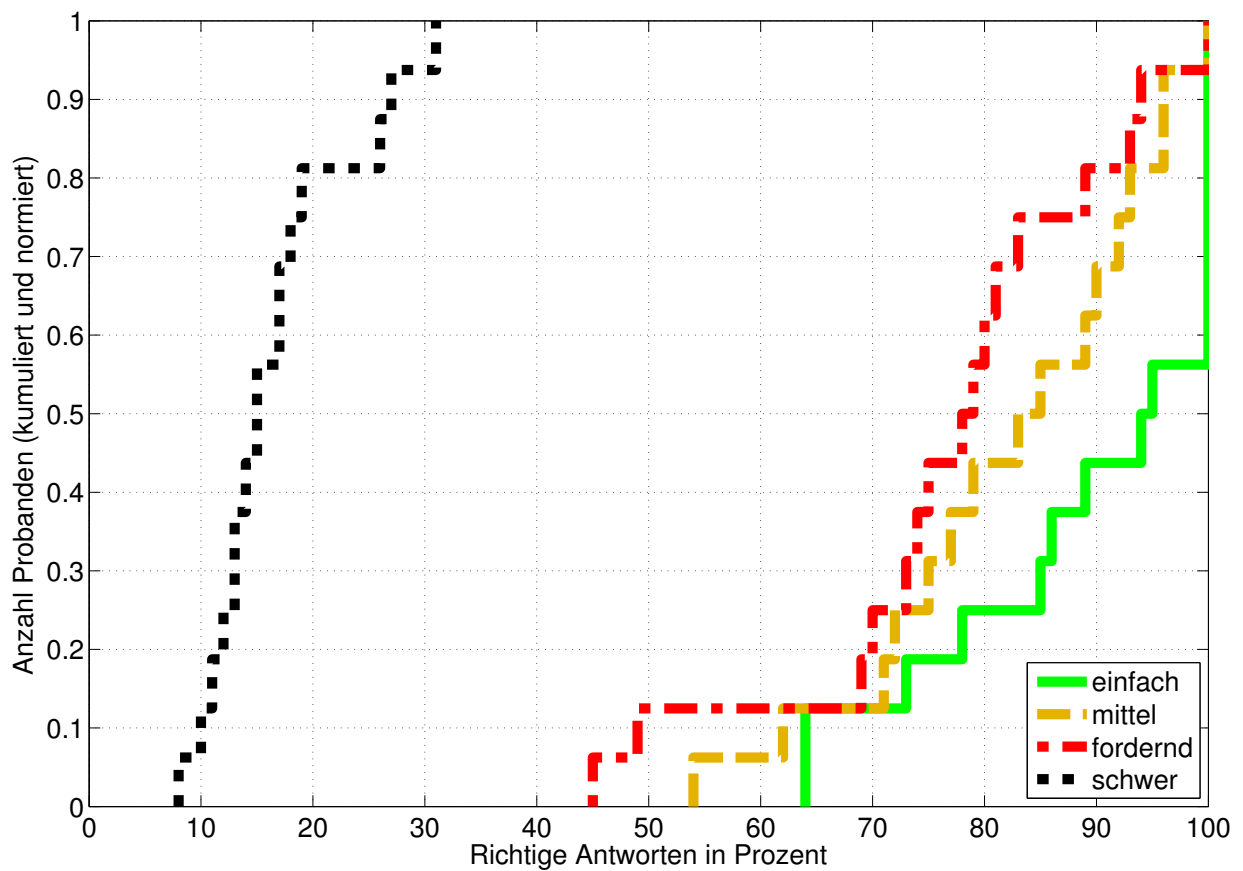


Abbildung 13.8: Schwierigkeitsgrad schwer des SuRT

## 13.4 Ergänzungen zum Prozessschritt Detektion



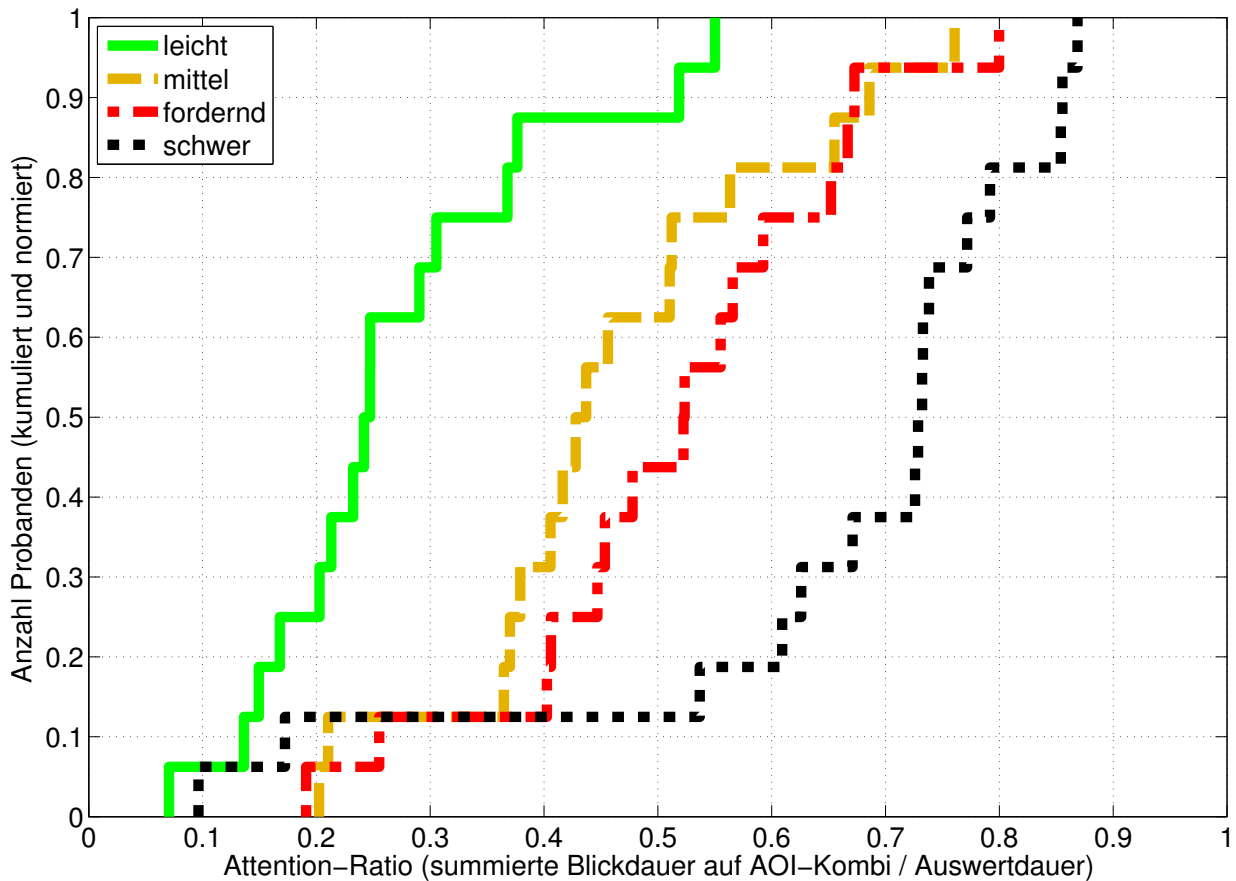
**Abbildung 13.9:** Richtige Antworten in der Sekundäraufgabe 1-back Task dargestellt über den Schwierigkeitsstufen

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$7,86 \cdot 10^{-2}$	$2,62 \cdot 10^{-11}$

**Tabelle 13.1:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der Leistung im 1-back Task

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$7,54 \cdot 10^{-2}$	$7,79 \cdot 10^{-1}$	$1,90 \cdot 10^{-3}$

**Tabelle 13.2:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung“



**Abbildung 13.10:** Darstellung der relativen Häufigkeit eines Blicks auf die tertiäre Aufgabe dargestellt über den Schwierigkeitsstufen

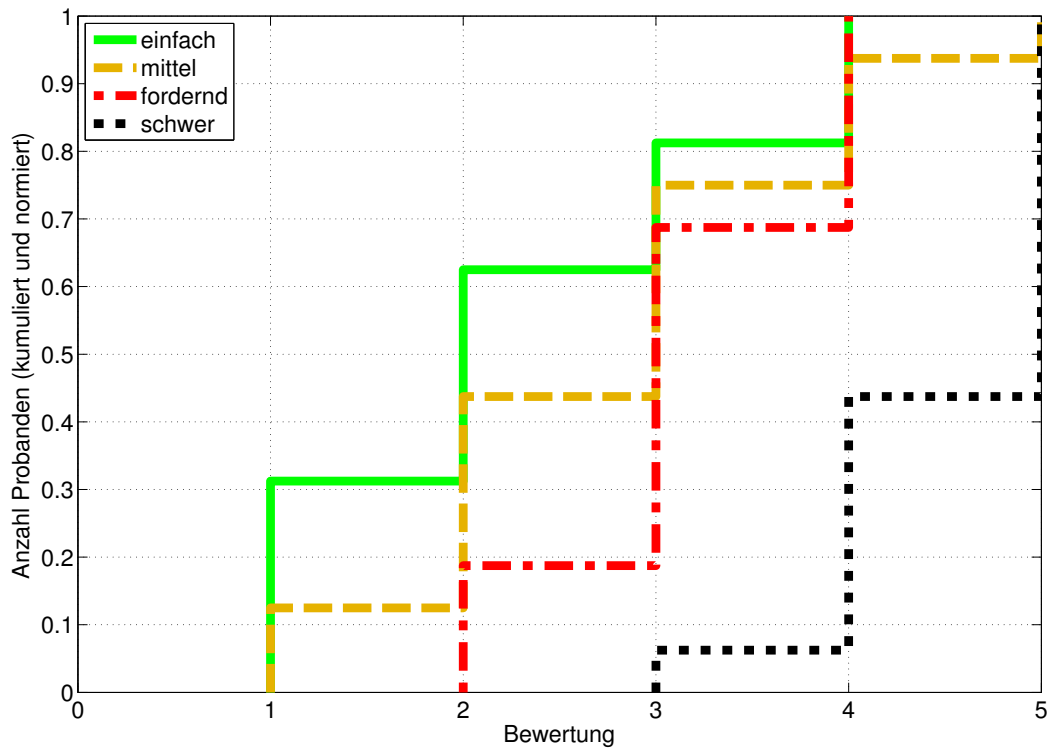
Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$8,94 \cdot 10^{-7}$	$2,81 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-4}$

**Tabelle 13.3:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators EORT

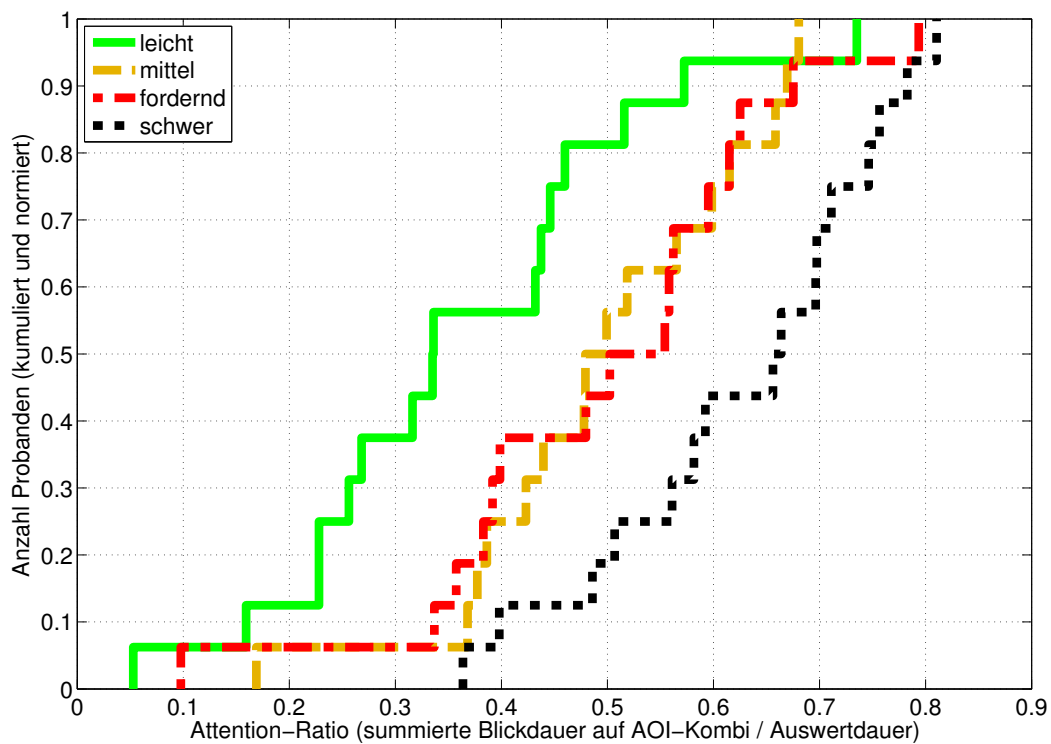
Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$2,40 \cdot 10^{-1}$	$1,38 \cdot 10^{-1}$	$1,42 \cdot 10^{-4}$

**Tabelle 13.4:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der RALI-Frage Nr.3 „Zeitliche Anforderung“

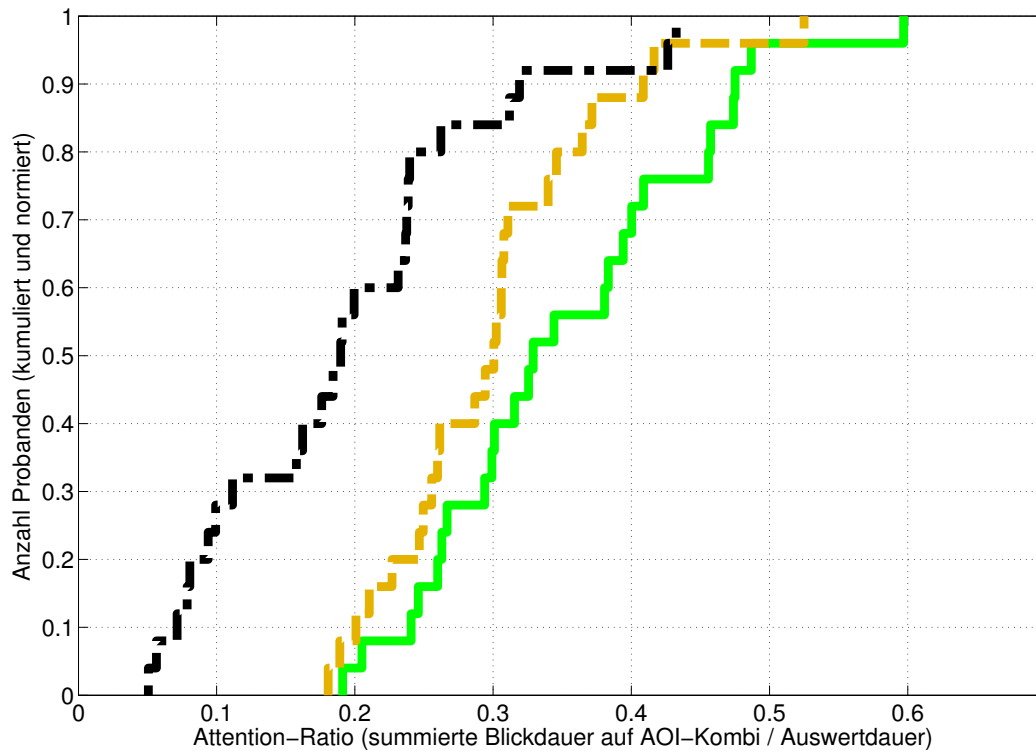




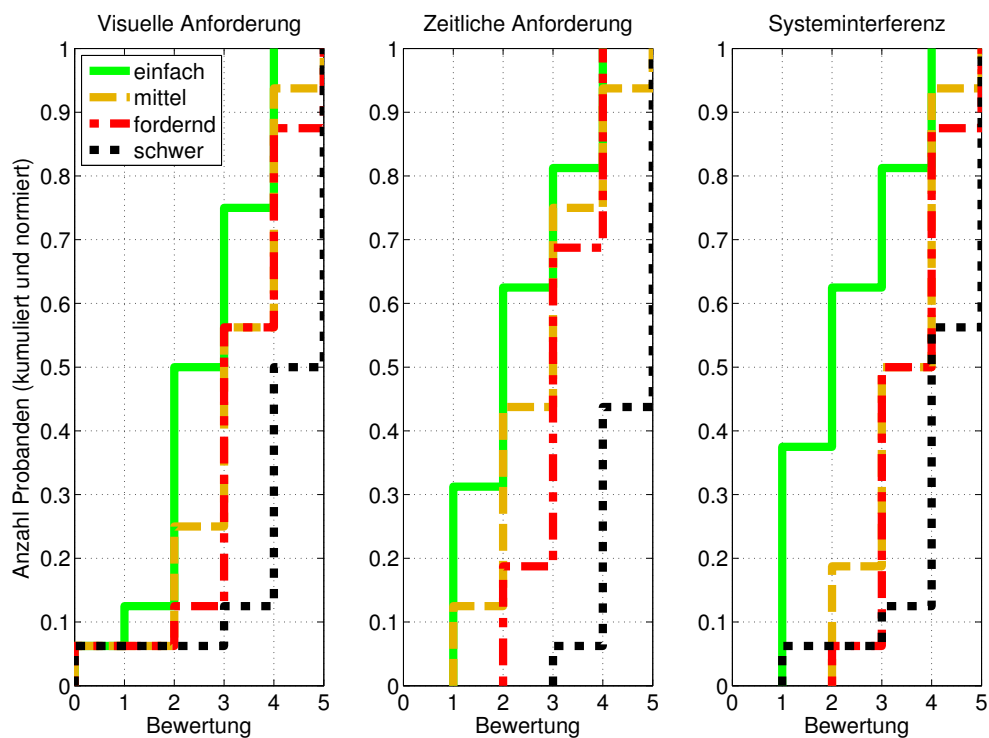
**Abbildung 13.11:** Kumulierte Antworten der RALI-Frage Nr.3 des RALI-Fragebogens dargestellt über den Schwierigkeitsstufen



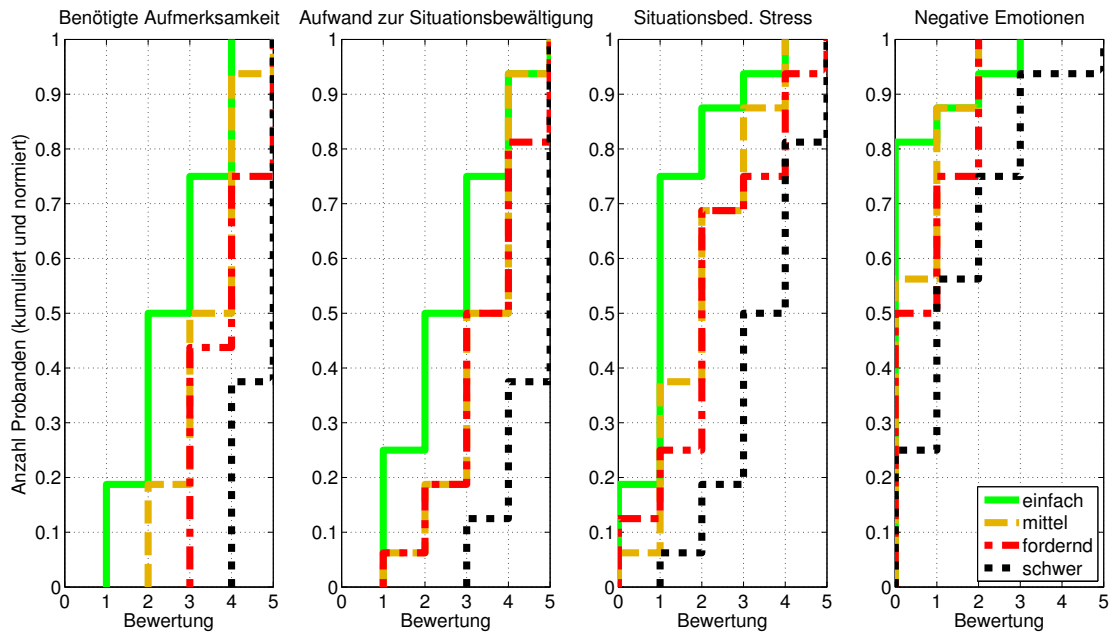
**Abbildung 13.12:** Verarbeitung: Darstellung der relativen Häufigkeit eines Blicks auf die Nebenaufgabe, dargestellt über den Schwierigkeitsstufen



**Abbildung 13.13:** Priorisierung: Darstellung der relativen Häufigkeit eines Blicks auf die tertiäre Aufgabe dargestellt über den Schwierigkeitsstufen

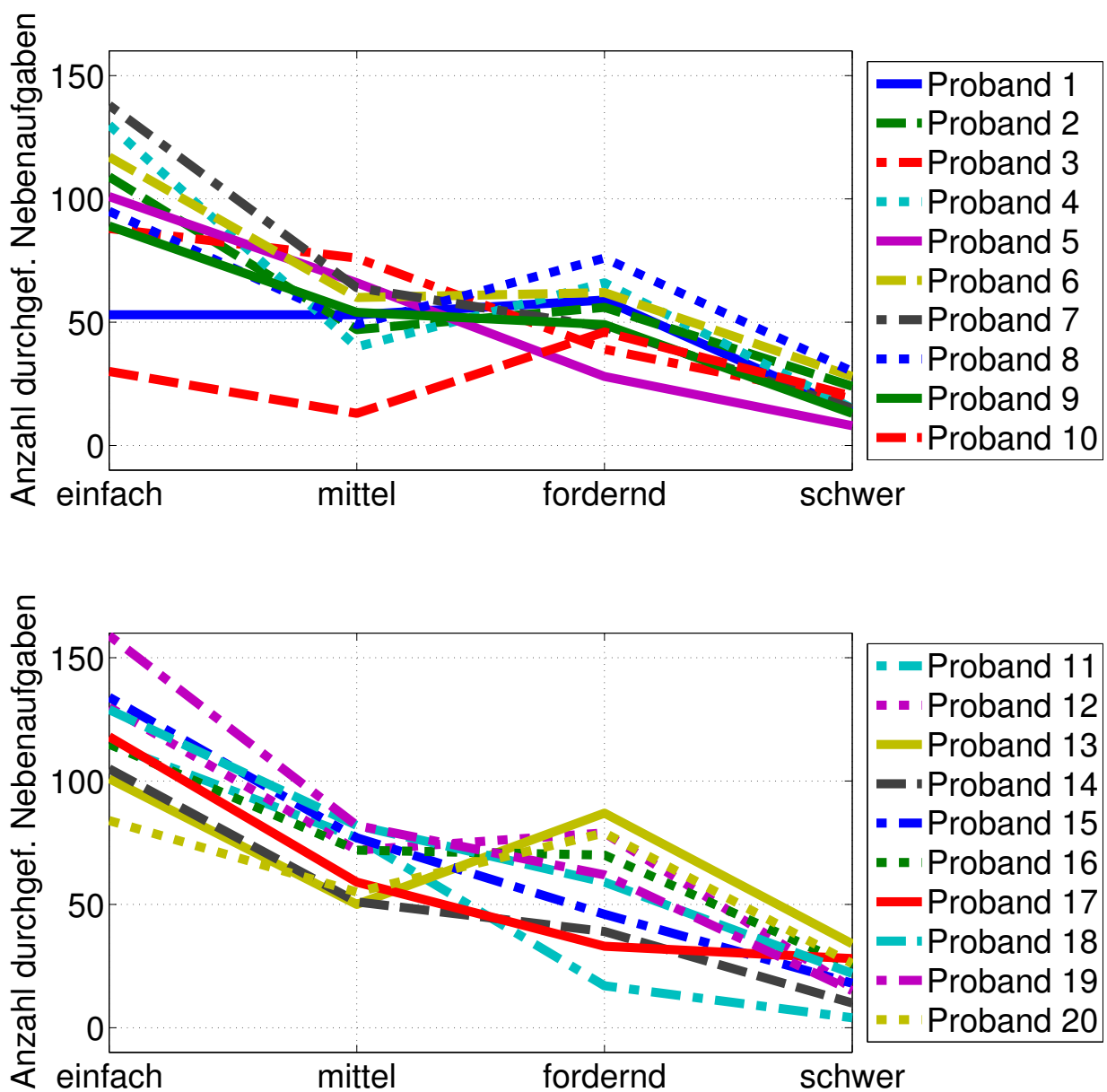


**Abbildung 13.14:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Detektion; Fragen 1, 3, 4

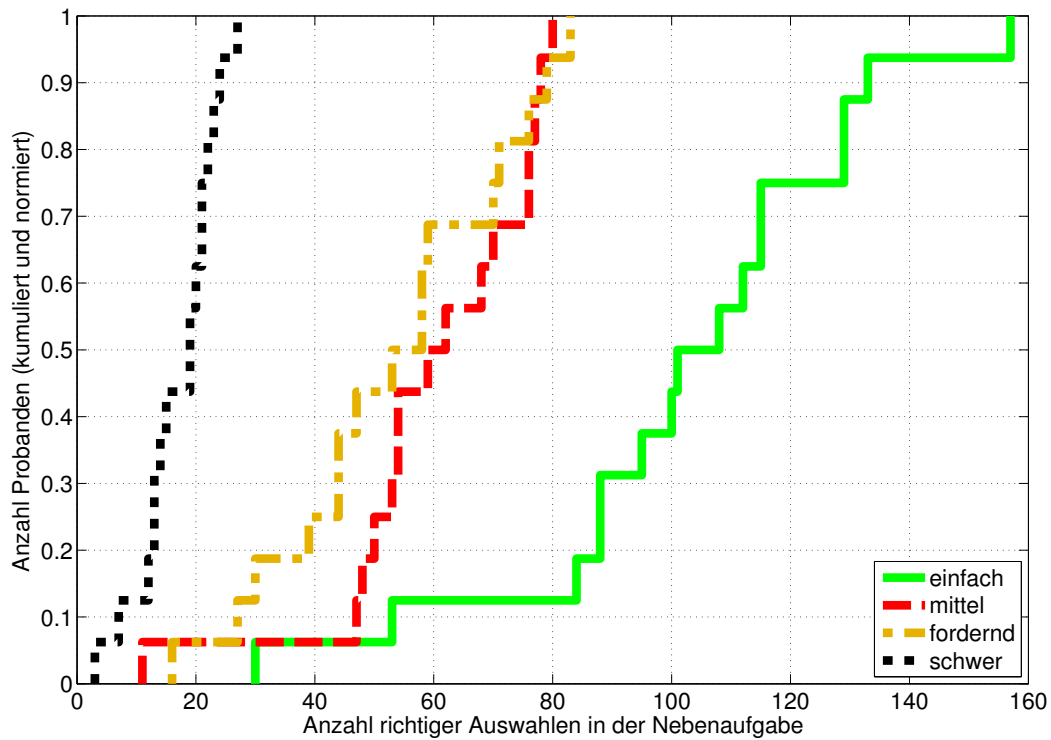


**Abbildung 13.15:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Detektion; Fragen 5 bis 8

## 13.5 Ergänzungen zum Prozessschritt Verarbeitung



**Abbildung 13.16:** Darstellung des Werts Attention-Ratio aufgeschlüsselt nach den Probanden über den Schwierigkeitsgraden



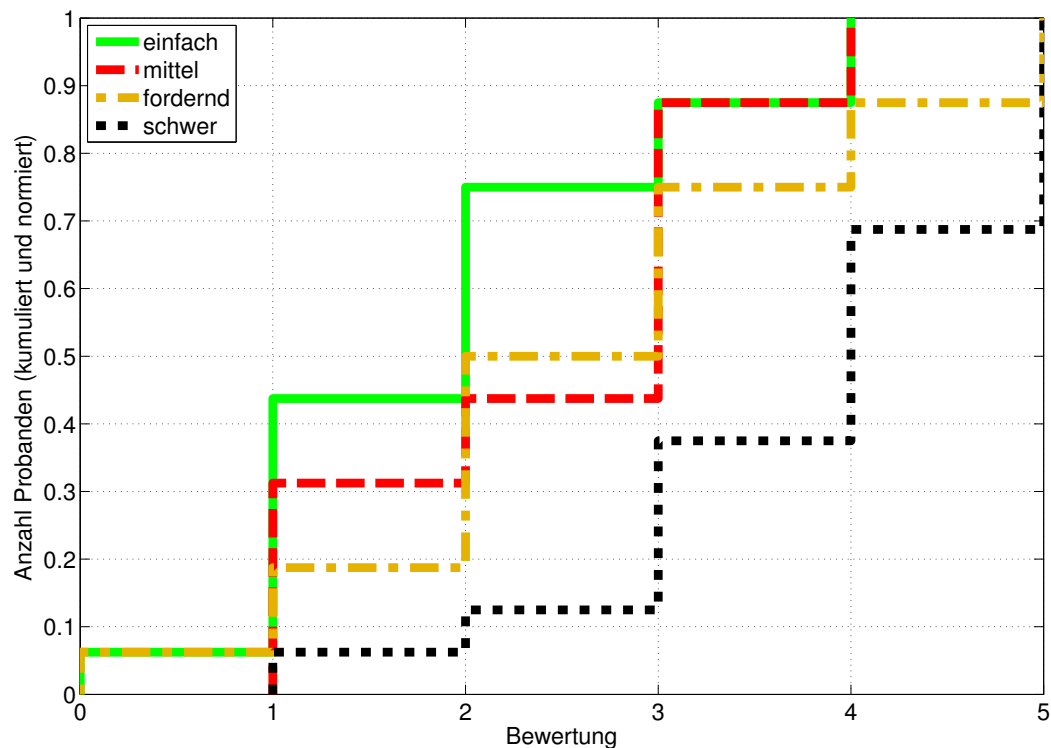
**Abbildung 13.17:** Anzahl richtiger Auswahlen in der Nebenaufgabe SuRT, dargestellt über den Schwierigkeitsgraden

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$4,39 \cdot 10^{-7}$	$3,44 \cdot 10^{-1}$	$5,46 \cdot 10^{-7}$

**Tabelle 13.5:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der Leistung im 1-back Task

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$1,35 \cdot 10^{-1}$	$6,32 \cdot 10^{-1}$	$3,12 \cdot 10^{-2}$

**Tabelle 13.6:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung“



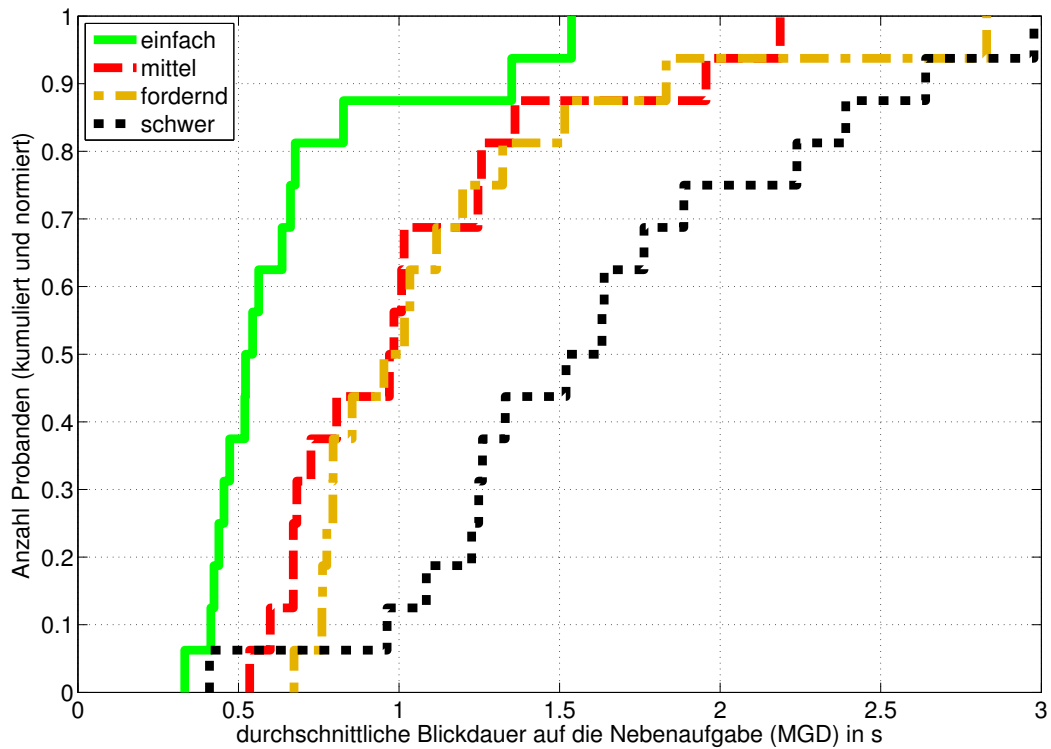
**Abbildung 13.18:** Selbstberichtete Bewertung der Schwierigkeitsstufen durch die RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung“

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$2,42 \cdot 10^{-6}$	$1,56 \cdot 10^{-1}$	$1,05 \cdot 10^{-4}$

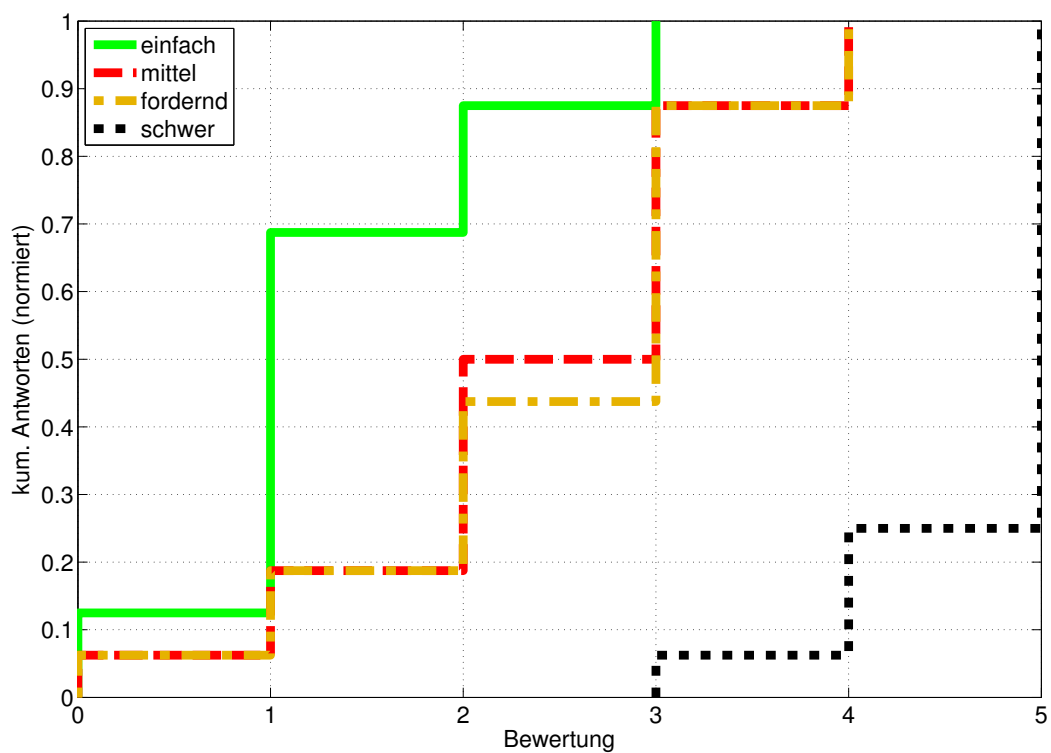
**Tabelle 13.7:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators Mean-Glance-Duration

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$4,50 \cdot 10^{-3}$	$8,91 \cdot 10^{-1}$	$4,33 \cdot 10^{-7}$

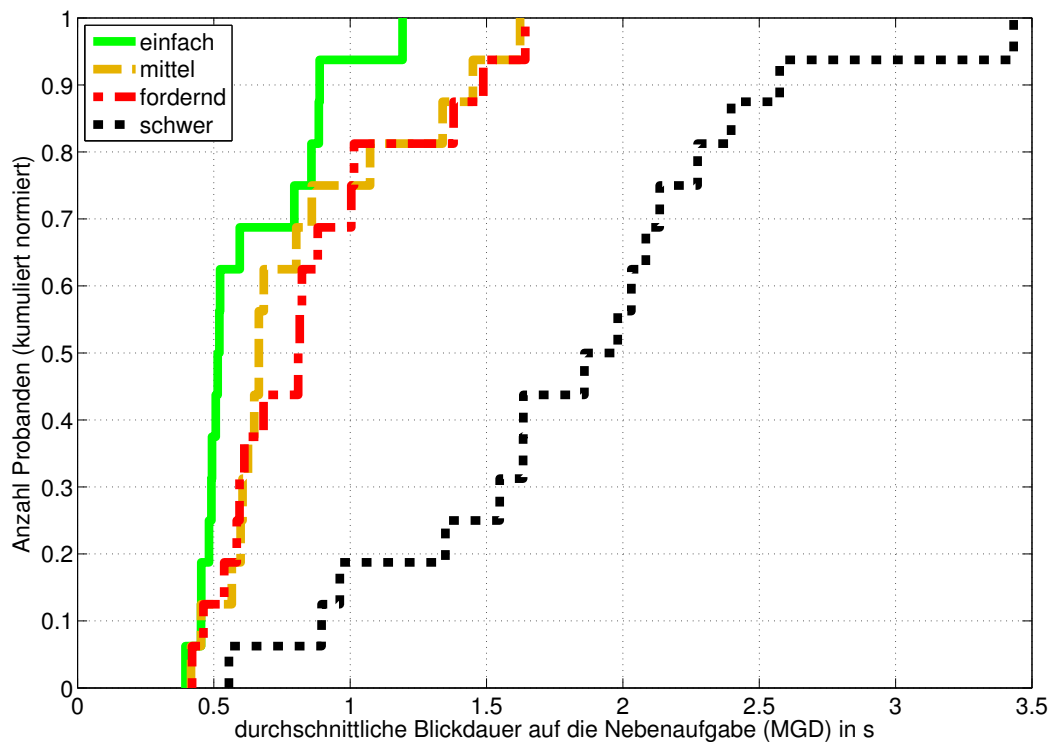
**Tabelle 13.8:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Anforderung“



**Abbildung 13.19:** Verteilung des Indikators Mean-Glance-Duration über den Schwierigkeitsstufen



**Abbildung 13.20:** Kumulierte Antworten der Frage Nr. 3 des RALI-Fragebogens dargestellt über den Schwierigkeitsstufen



**Abbildung 13.21:** Detektion: Verteilung des Indikators Mean-Glance-Duration über den Schwierigkeitsstufen

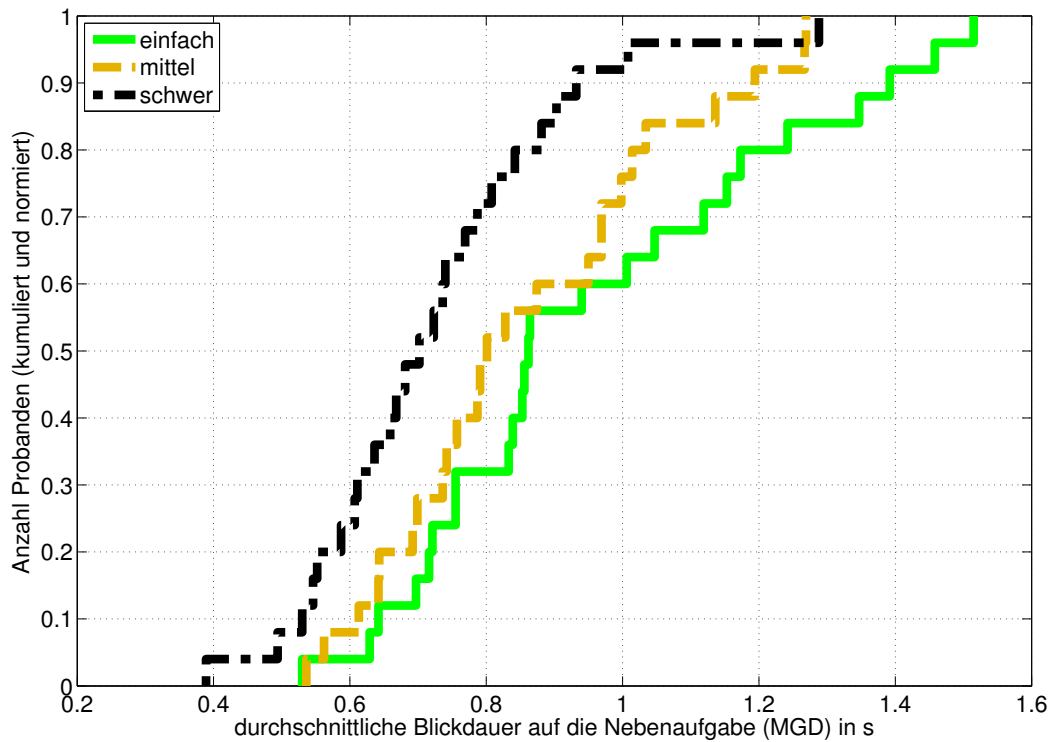
Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$7,73 \cdot 10^{-7}$	$3,20 \cdot 10^{-2}$	$7,20 \cdot 10^{-5}$

**Tabelle 13.9:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators Mean-Glance-Duration für die Studie Detektion

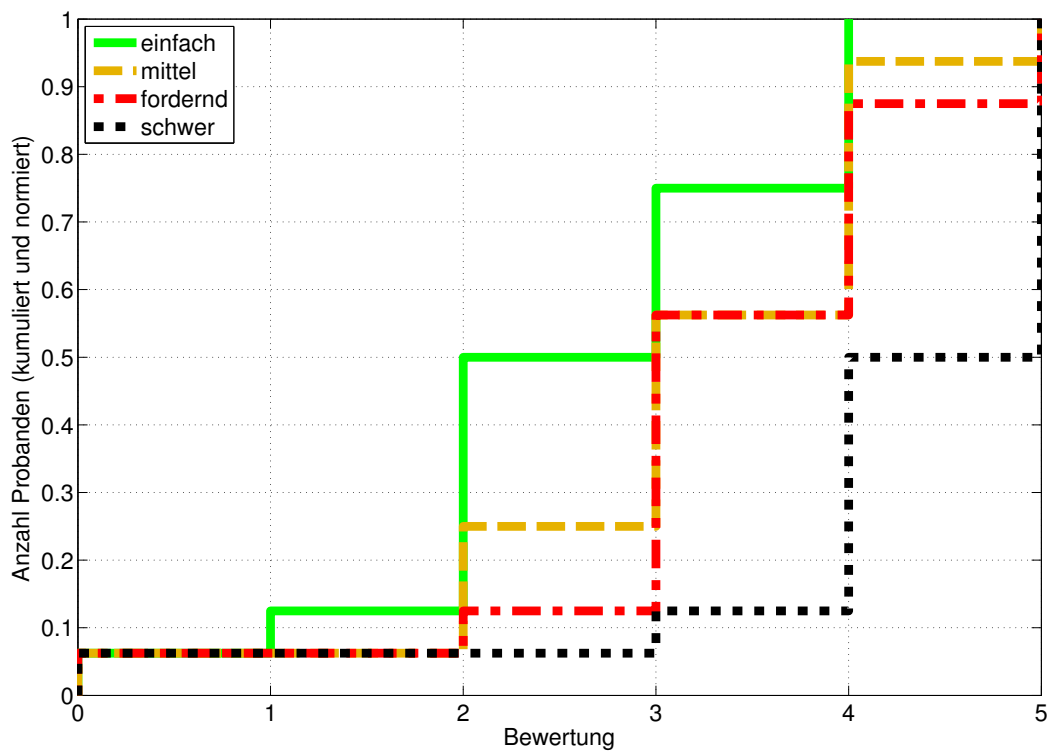
Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau	$5,27 \cdot 10^{-4}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$

**Tabelle 13.10:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators Mean-Glance-Duration für die Studie Priorisierung

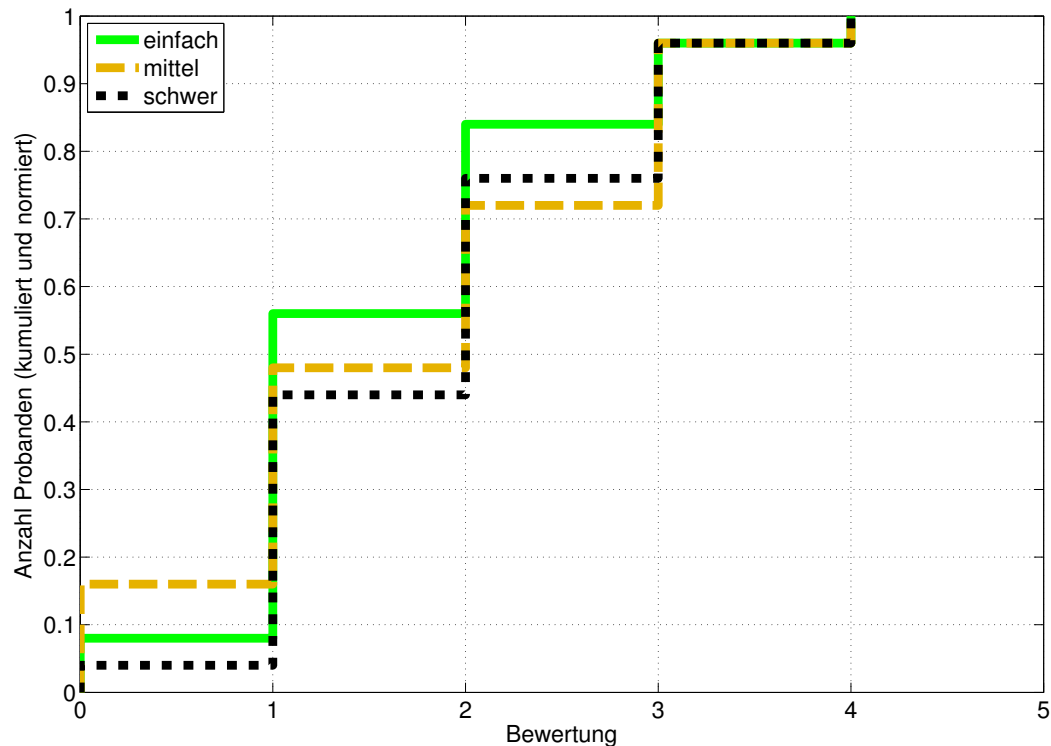




**Abbildung 13.22:** Priorisierung: Verteilung des Indikators Mean-Glance-Duration über den Schwierigkeitsstufen



**Abbildung 13.23:** Detektion: Kumulierte Antworten der Frage Nr. 3 des RALI-Fragebogens dargestellt über den Schwierigkeitsstufen



**Abbildung 13.24:** Priorisierung: Kumulierte Antworten der Frage 3 des RALI-Fragebogens dargestellt über den Schwierigkeitsstufen

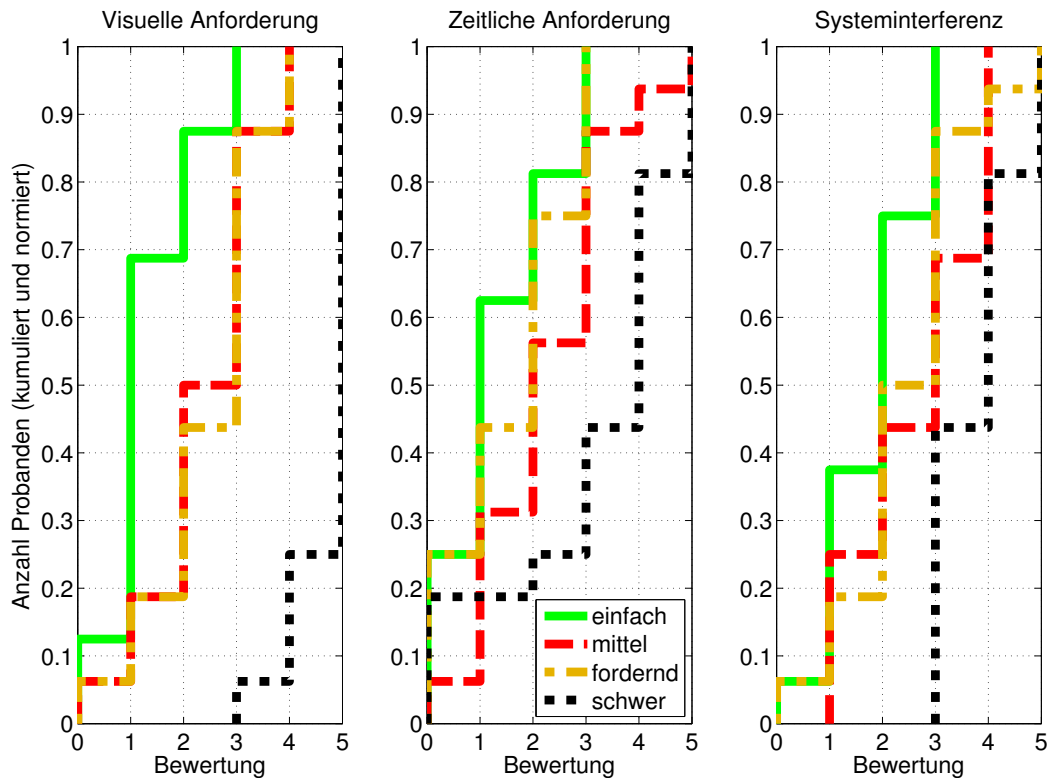
Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	fordernd - schwer
Signifikanzniveau	$1,56 \cdot 10^{-1}$	$6,54 \cdot 10^{-1}$	$8,43 \cdot 10^{-2*}$

\* Ausschluss der Messdaten der Schwierigkeitsstufe *schwer*, da pro Blick z.T. mehrere Nebenaufgabenzyklen beobachtet wurden

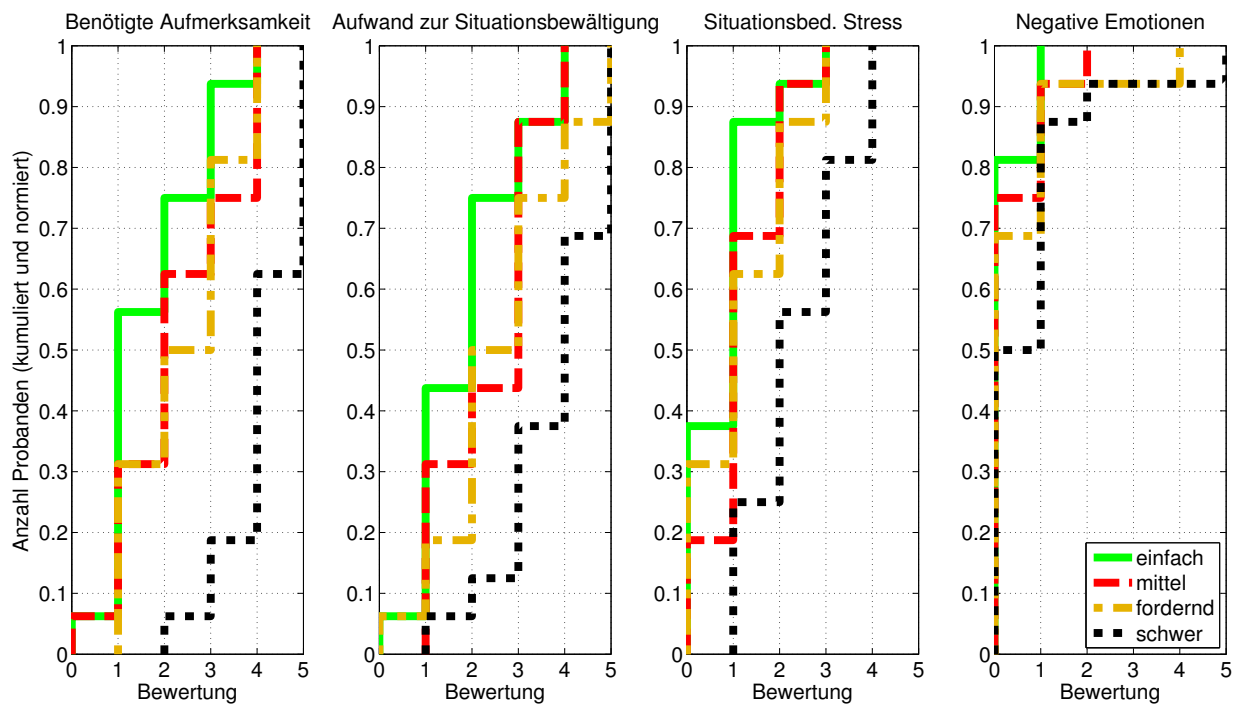
**Tabelle 13.11:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Anforderung“ während der Studie zur Detektion

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau	$4,17 \cdot 10^{-1}$	$2,65 \cdot 10^{-1}$

**Tabelle 13.12:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators RALI-Frage Nr.1 „Visuelle Anforderung“ während der Studie zur Priorisierung

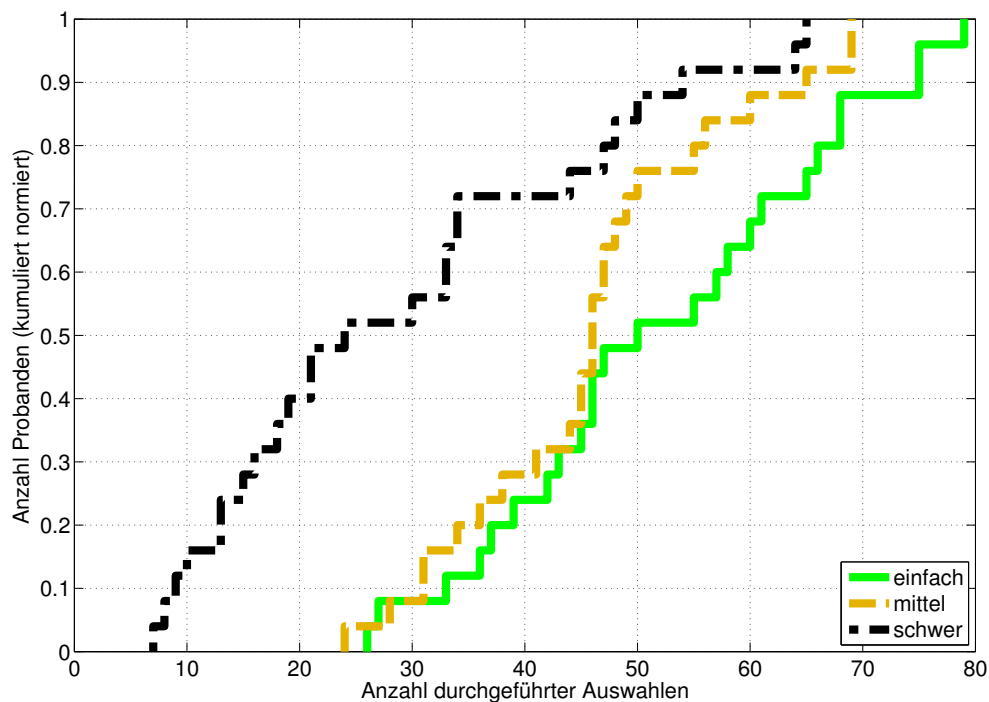


**Abbildung 13.25:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Verarbeitung; Fragen 1, 3, 4

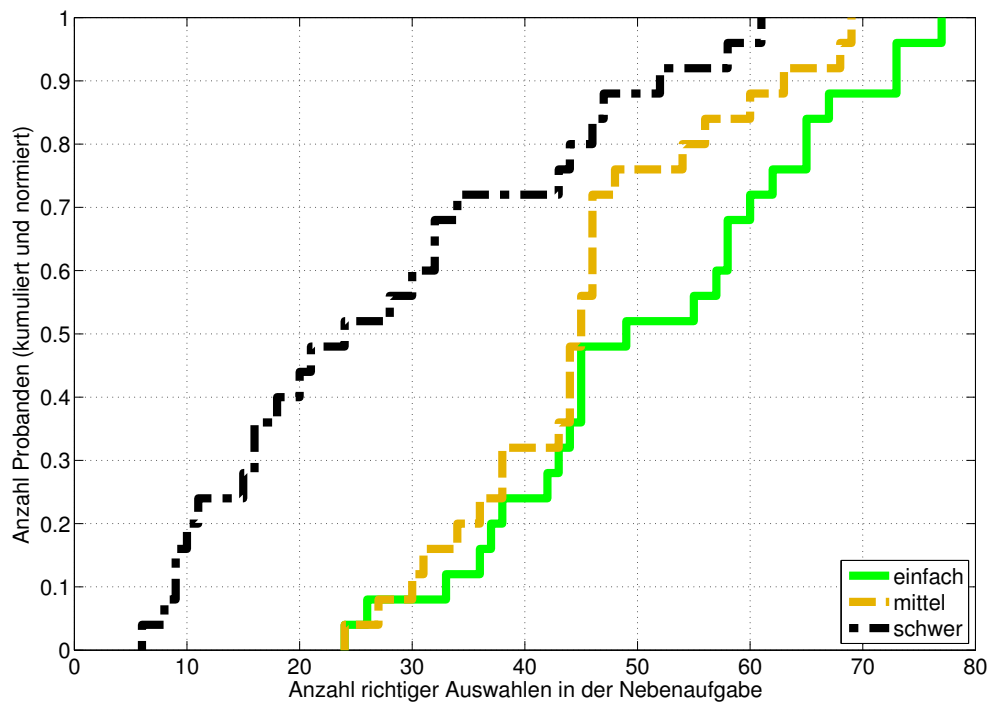


**Abbildung 13.26:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Verarbeitung; Fragen 5 bis 8

## 13.6 Ergänzungen zum Prozessschritt Priorisierung



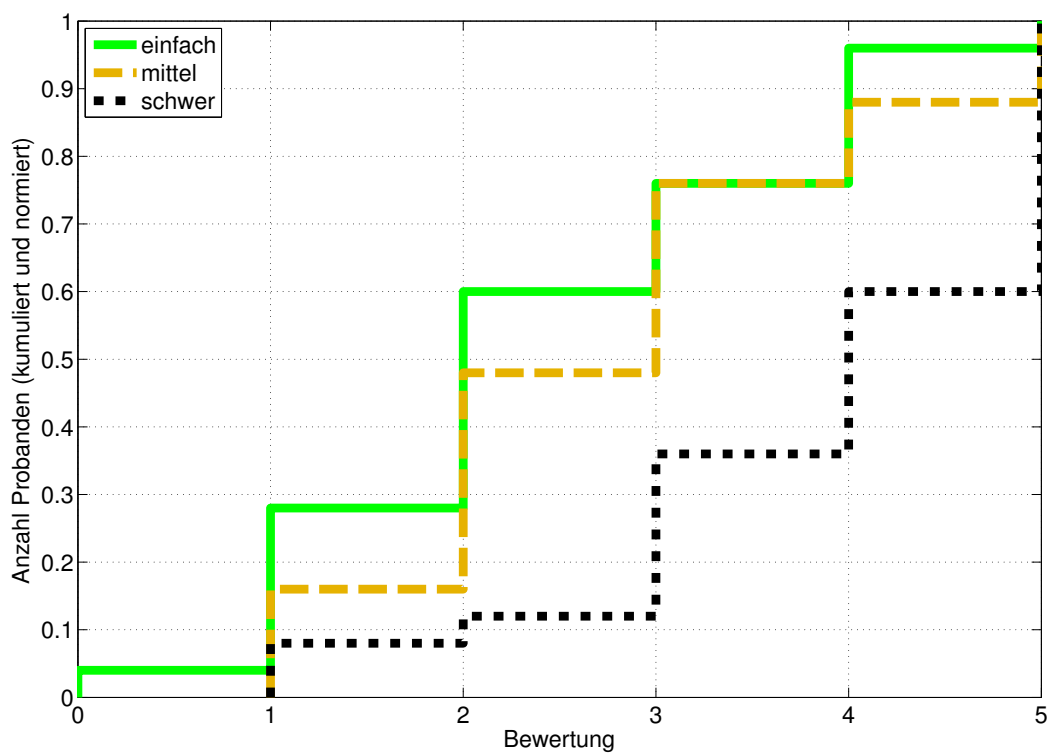
**Abbildung 13.27:** Verteilung der Anzahl durchgeführter Nebenaufgaben über der Schwierigkeit für die Studie Priorisierung



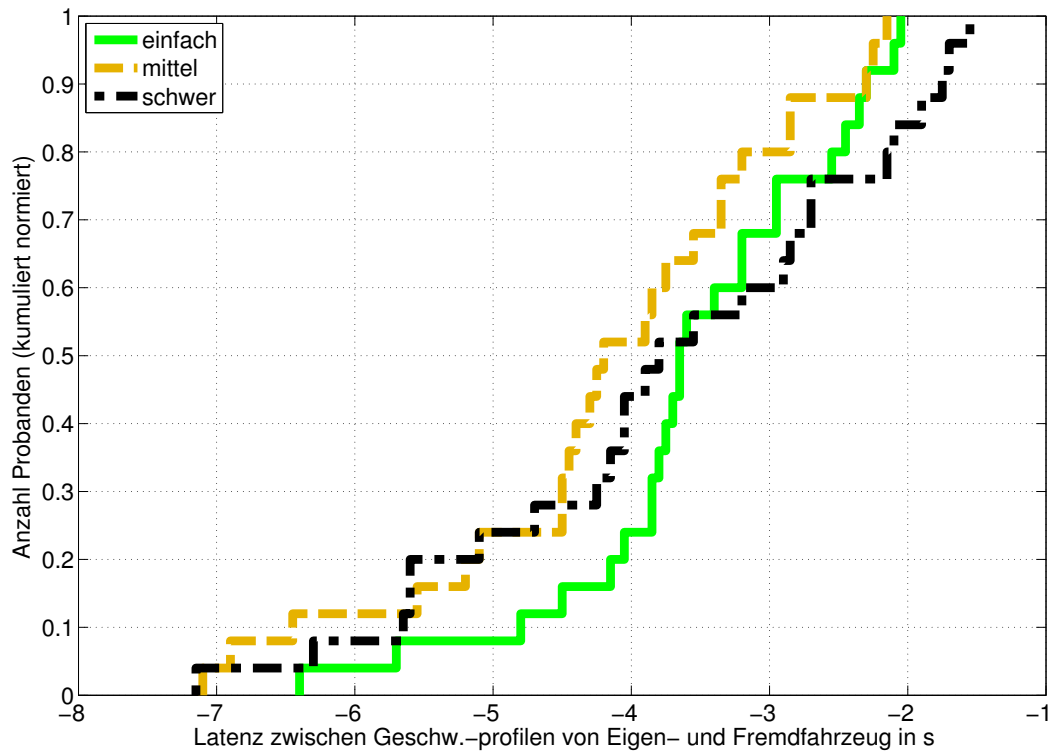
**Abbildung 13.28:** Anzahl richtiger Auswahlen in der Nebenaufgabe SuRT, dargestellt über der Schwierigkeit

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau Anzahl richtiger Auswahlen	$1,48 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$
Signifikanzniveau RALI-Frage Nr.6	$3,60 \cdot 10^{-2}$	$9,83 \cdot 10^{-5}$

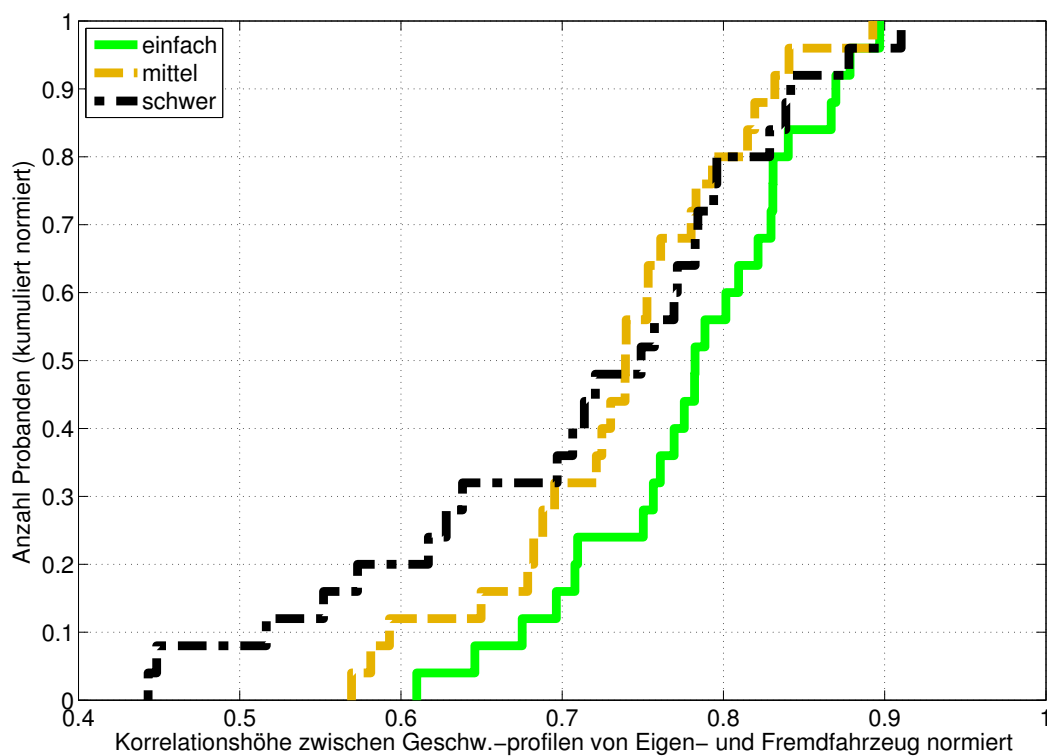
**Tabelle 13.13:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen in der Anzahl richtiger Nebenaufgabeneingaben sowie der RALI-Frage „Aufwand zur Situationsbewältigung“



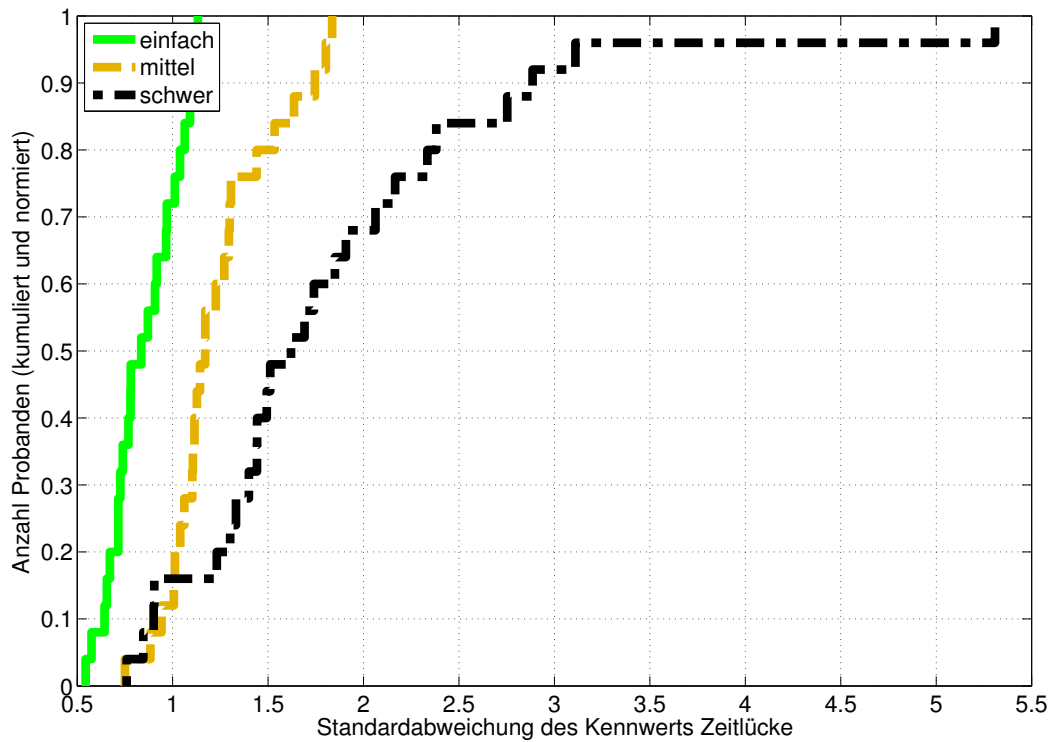
**Abbildung 13.29:** Selbstberichtete Bewertung der Schwierigkeitsstufen durch die RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“



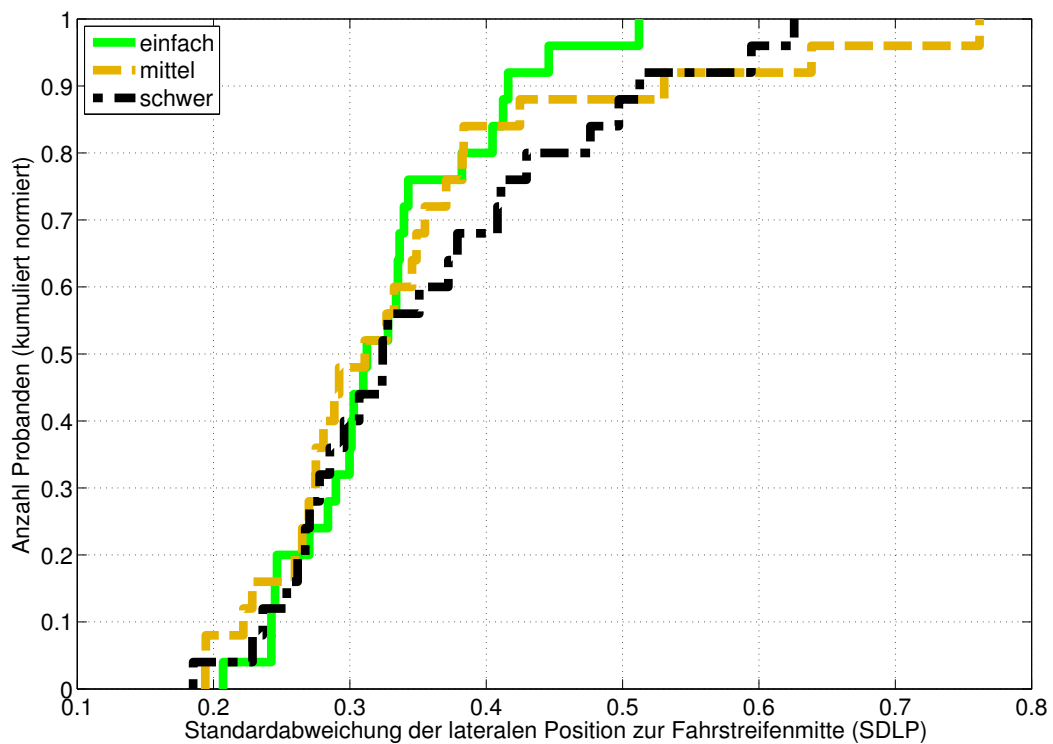
**Abbildung 13.30:** Verteilungen des Indikators Latenz über den Schwierigkeitsstufen *einfach*, *mittel* und *schwer*



**Abbildung 13.31:** Verteilungen des Indikators Korrelationshöhe über den Schwierigkeitsstufen *einfach*, *mittel* und *schwer*



**Abbildung 13.32:** Verteilungen des Indikators Standardabweichung der Zeitlücke über den Schwierigkeitsstufen *einfach*, *mittel* und *schwer*



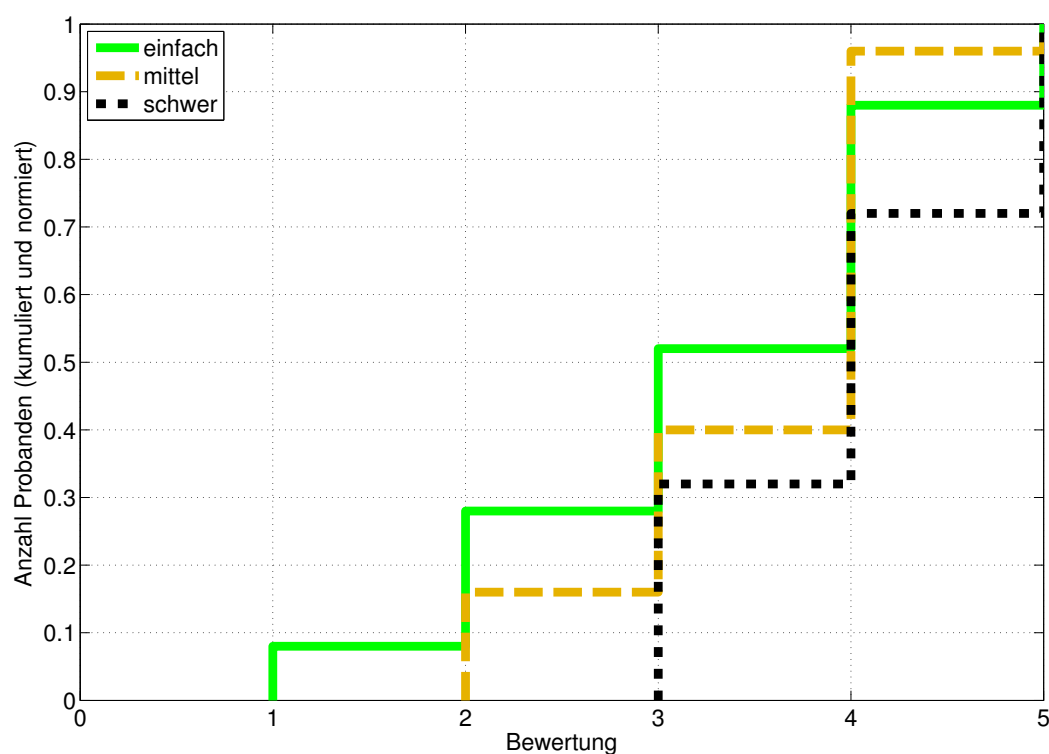
**Abbildung 13.33:** Verteilungen des Indikators SDLP über den Schwierigkeitsstufen *einfach*, *mittel* und *schwer*

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau STG	$3,09 \cdot 10^{-6}$	$1,74 \cdot 10^{-3}$

**Tabelle 13.14:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der vorausgewählten Indikatoren zur Prüfung der Längsführung

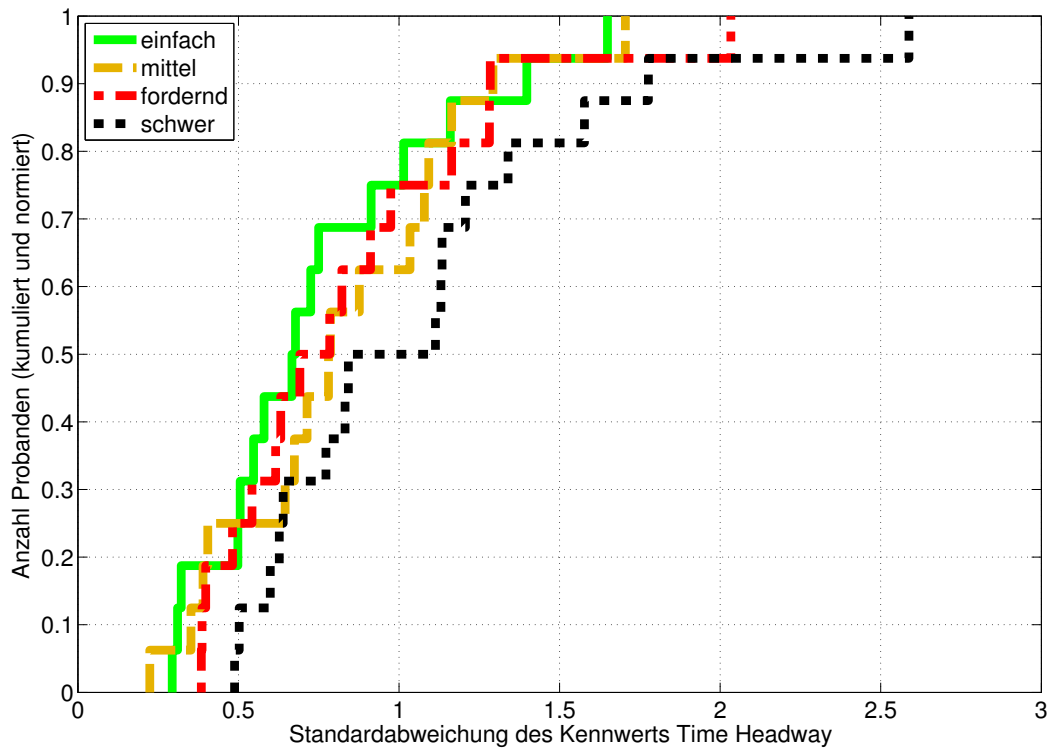
Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
SDLP	$4,12 \cdot 10^{-1}$	$5,80 \cdot 10^{-1}$

**Tabelle 13.15:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Medianen des Indikators SDLP über den Schwierigkeitsstufen

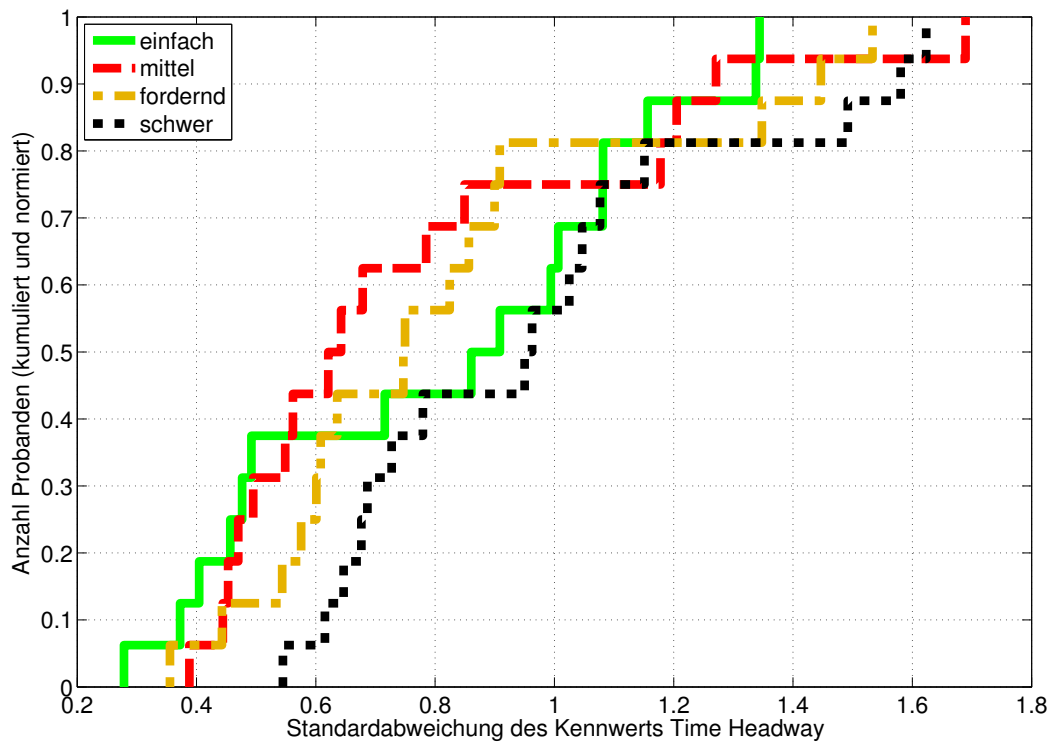


**Abbildung 13.34:** Verteilungen der Antworten auf die RALI-Frage Nr.2 des modifizierten RALI-Fragebogens über den Schwierigkeitsstufen *einfach*, *mittel* und *schwer*





**Abbildung 13.35:** Detektion: Verteilungen des Indikators SdZI über den Schwierigkeitsstufen



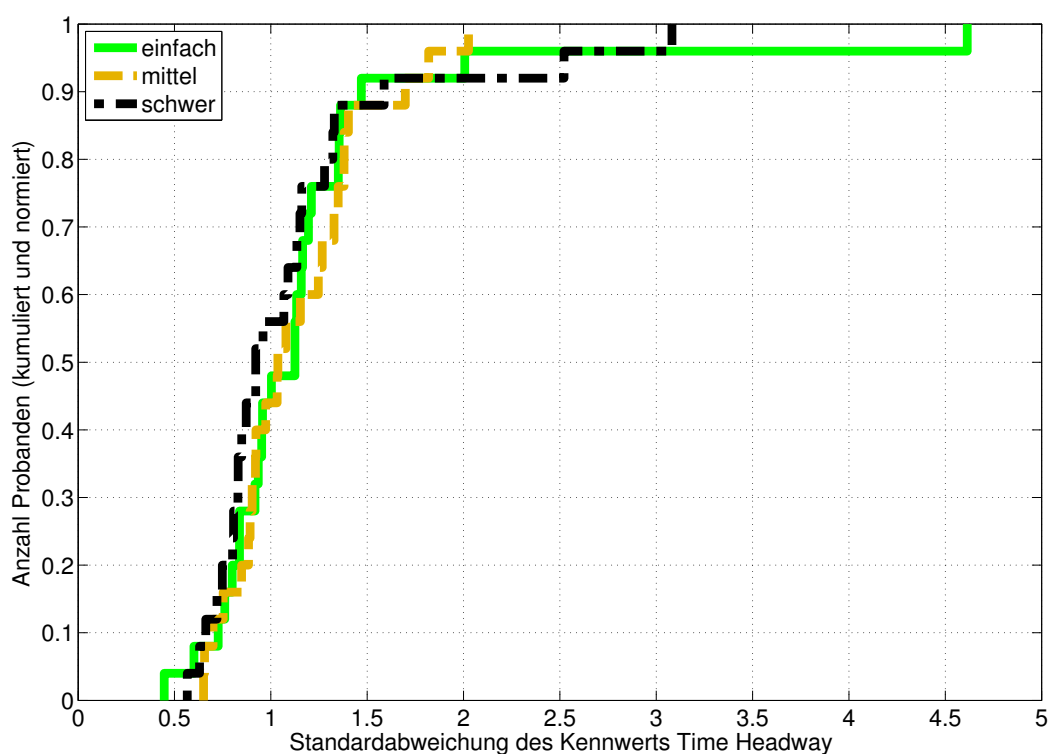
**Abbildung 13.36:** Verarbeitung: Verteilungen des Indikators SdZI über den Schwierigkeitsstufen

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
RALI-Frage Nr.2	$2,98 \cdot 10^{-1}$	$2,52 \cdot 10^{-2}$
RALI-Frage Nr.4	$2,03 \cdot 10^{-1}$	$1,52 \cdot 10^{-2}$

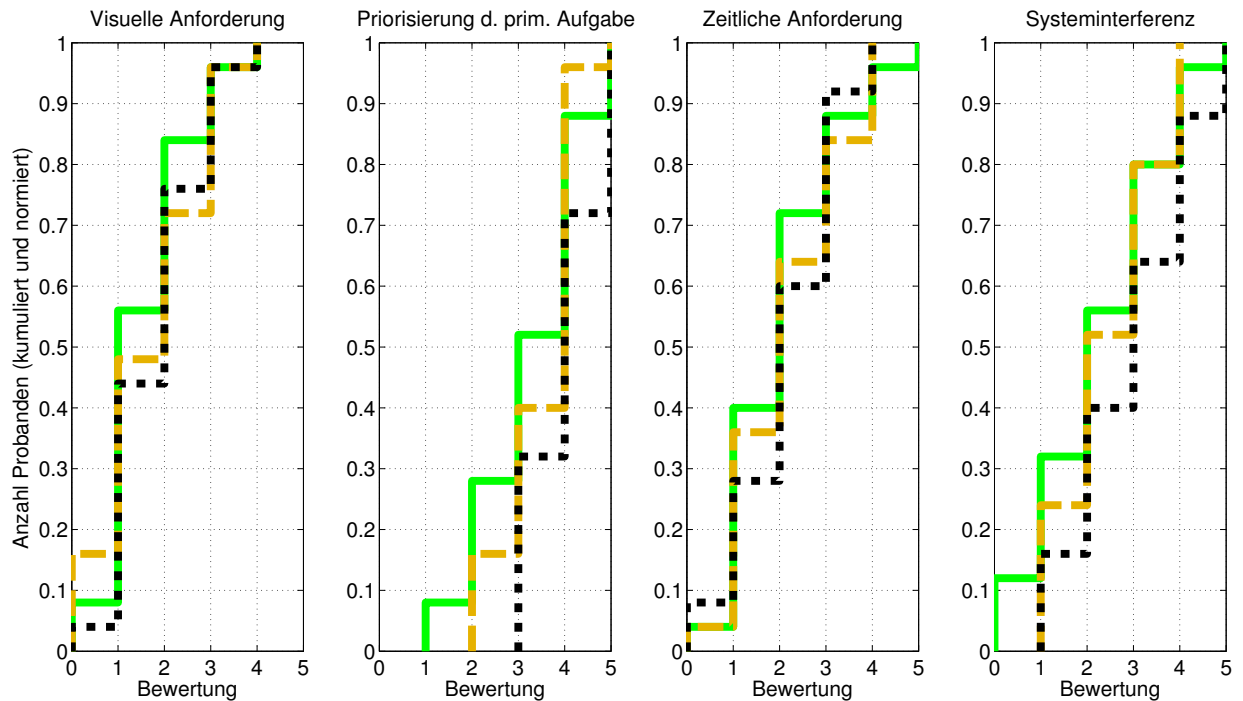
**Tabelle 13.16:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen der Antworten auf die Frage Nr.2 des modifizierten RALI

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	mittel bzw. fordernd - schwer
Detektion	$4,46 \cdot 10^{-1}$	$9,27 \cdot 10^{-1}$	$8,60 \cdot 10^{-3}$
Verarbeitung	$9,25 \cdot 10^{-1}$	$6,26 \cdot 10^{-1}$	$3,08 \cdot 10^{-2}$
Ressourcen	$6,83 \cdot 10^{-1}$	—	$8,82 \cdot 10^{-1}$

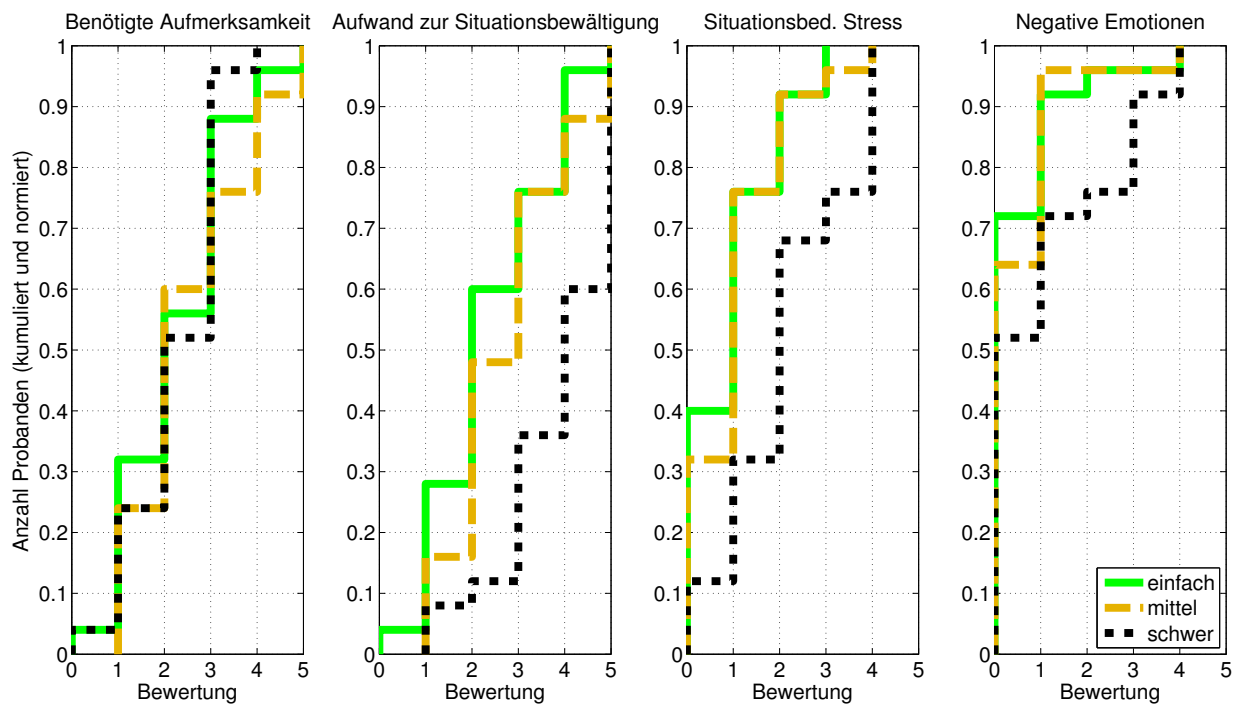
**Tabelle 13.17:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede des Indikators STG zwischen den Schwierigkeitsstufen und über den Studien



**Abbildung 13.37:** Aufmerksamkeitsressourcen: Verteilungen des Indikators SdZl über den Schwierigkeitsstufen

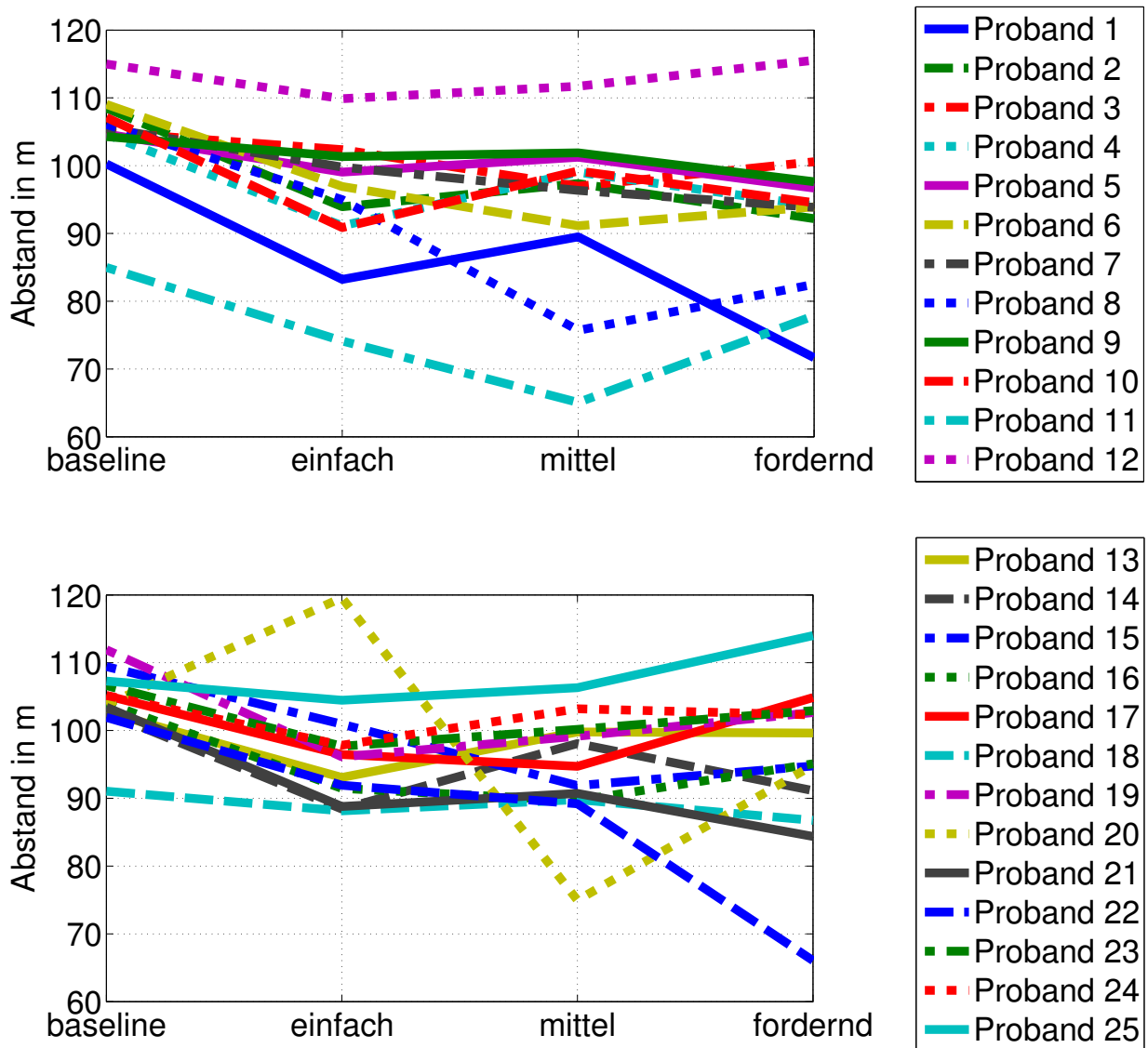


**Abbildung 13.38:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Priorisierung; Fragen 1 bis 4



**Abbildung 13.39:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Priorisierung; Fragen 5 bis 8

## 13.7 Ergänzungen zur Studie Aufmerksamkeitsressourcen



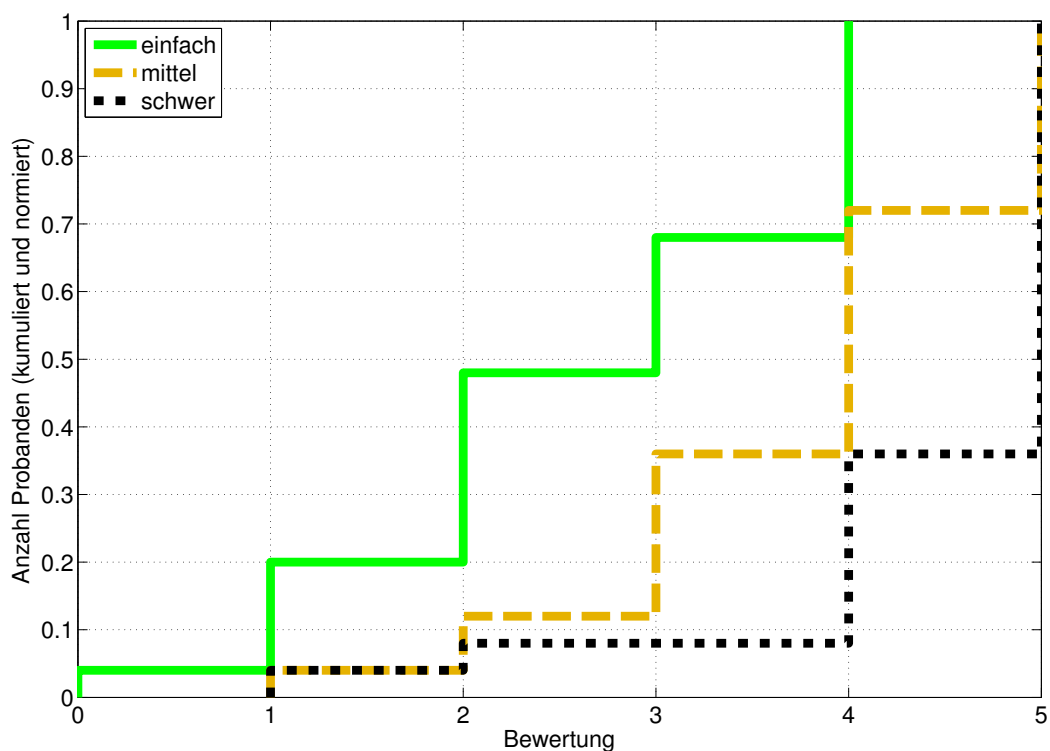
**Abbildung 13.40:** Darstellung des mittleren Abstands zwischen Probanden- und vorausfahrendem Fahrzeug, aufgeschlüsselt nach den Probanden über den Schwierigkeitsgraden

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau Anzahl richtiger Antworten	$1,52 \cdot 10^{-7}$	$4,61 \cdot 10^{-11}$
Signifikanzniveau RALI-Frage Nr.6	$2,37 \cdot 10^{-6}$	$1,45 \cdot 10^{-3}$

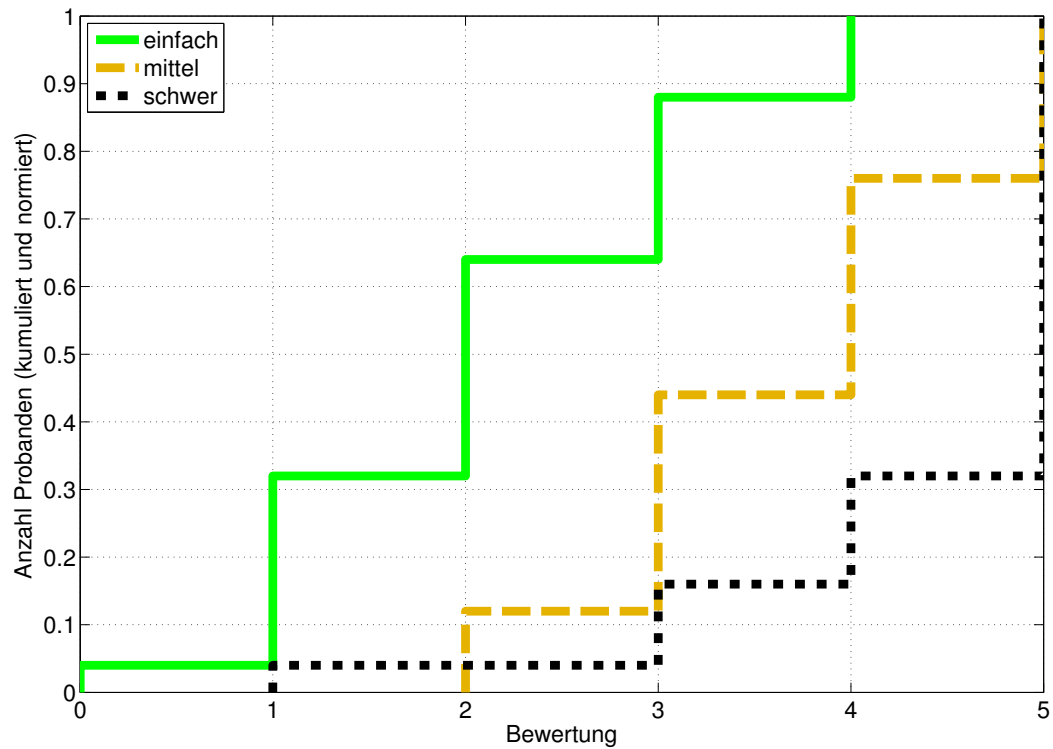
**Tabelle 13.18:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen in der Anzahl richtiger Antworten sowie in der RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau APS	$8,99 \cdot 10^{-1}$	$3,42 \cdot 10^{-2}$
Signifikanzniveau GFP	$8,14 \cdot 10^{-1}$	$2,55 \cdot 10^{-2}$
Signifikanzniveau AFP	$8,14 \cdot 10^{-1}$	$2,55 \cdot 10^{-2}$

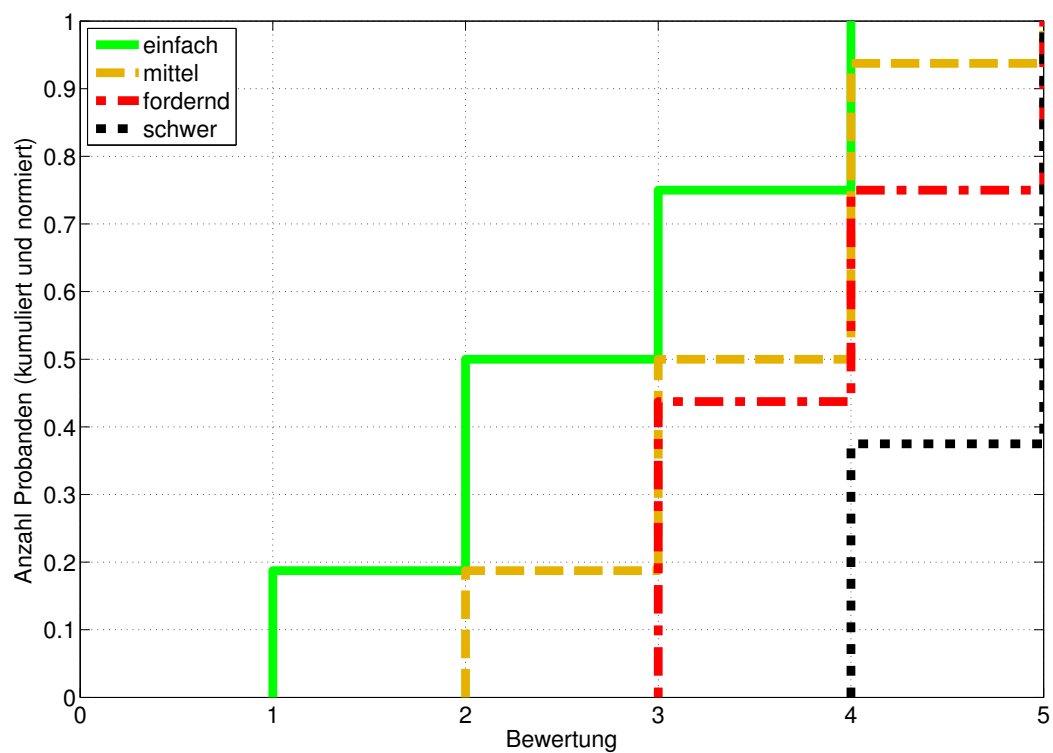
**Tabelle 13.19:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen in den Indikatoren APS, GFP und AFP



**Abbildung 13.41:** Selbstberichtete Bewertung der Schwierigkeitsstufen durch die RALI-Frage Nr.6 „Aufwand zur Situationsbewältigung“



**Abbildung 13.42:** Verteilungen des Indikators RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“ über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*



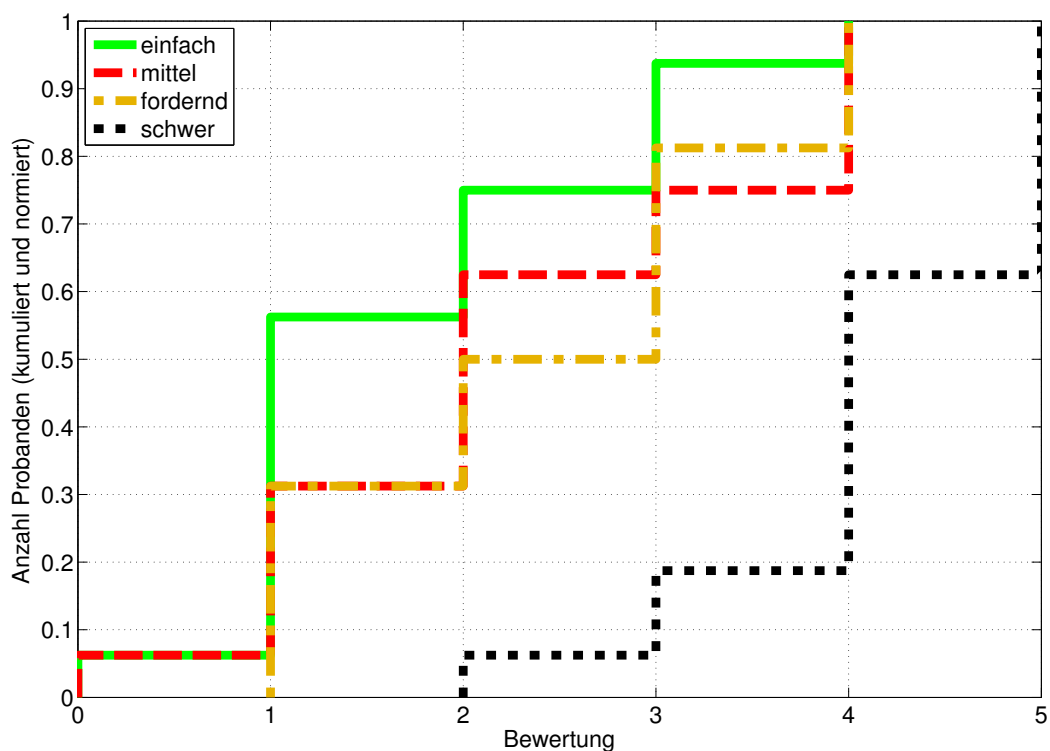
**Abbildung 13.43:** Detektion: Verteilungen des Indikators RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“ über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*

Paarungen	einfach - mittel	mittel - schwer
Signifikanzniveau RALI-Frage Nr.5	$5,22 \cdot 10^{-8}$	$2,55 \cdot 10^{-3}$

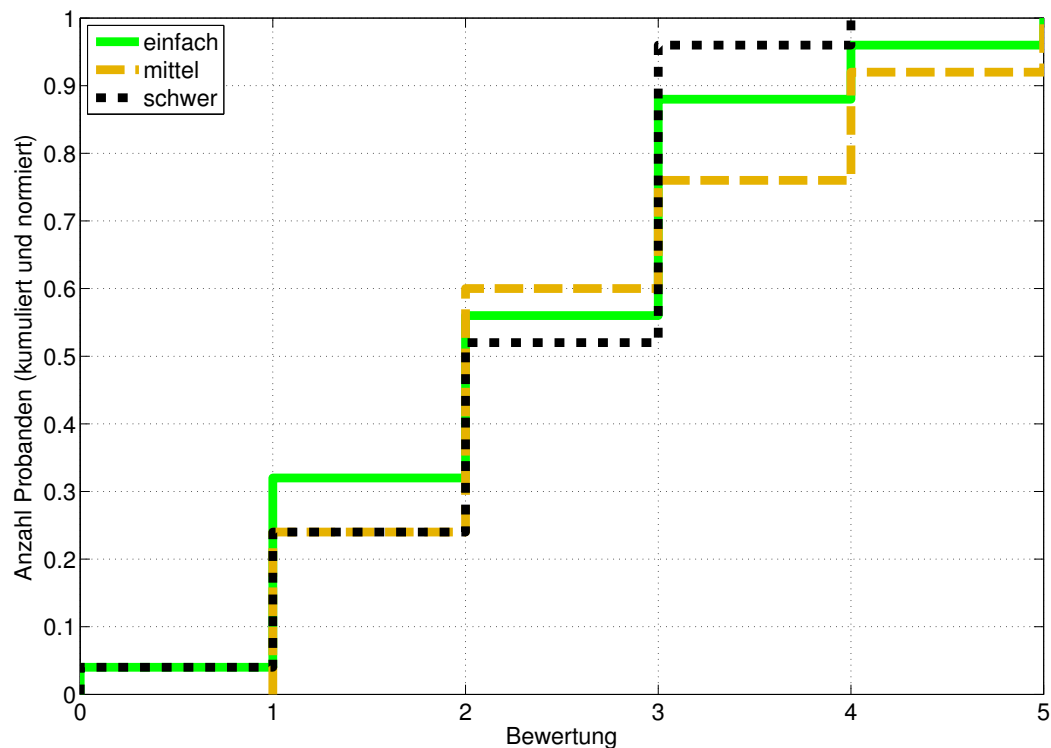
**Tabelle 13.20:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen des Indikators RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“

Paarungen	einfach - mittel	mittel - fordernd	mittel - schwer
Signifikanzniveau RALI-Frage Nr.5 Detektion	$3,22 \cdot 10^{-2}$	$6,86 \cdot 10^{-2}$	$4,73 \cdot 10^{-3}$
Signifikanzniveau RALI-Frage Nr.5 Verarbeitung	$1,67 \cdot 10^{-1}$	$8,06 \cdot 10^{-1}$	$2,04 \cdot 10^{-4}$
Signifikanzniveau RALI-Frage Nr.5 Priorisierung	$5,59 \cdot 10^{-1}$	-	$3,53 \cdot 10^{-1}$

**Tabelle 13.21:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen in der RALI-Frage Nr.5



**Abbildung 13.44:** Verarbeitung: Verteilungen des Indikators RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“ über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*

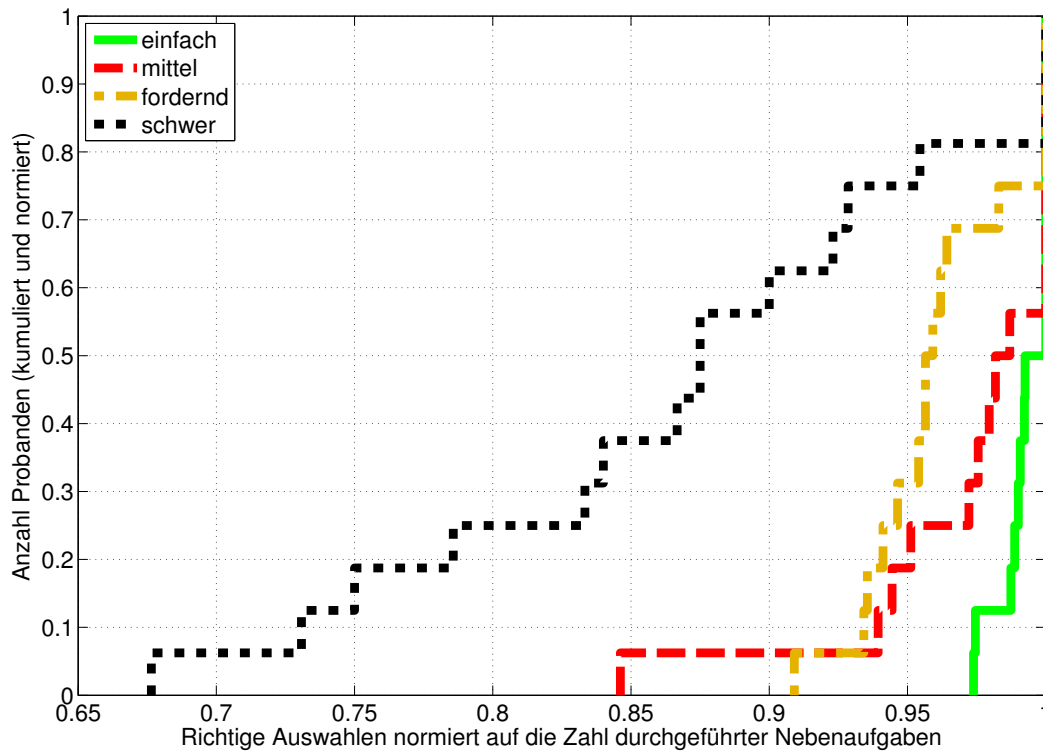


**Abbildung 13.45:** Priorisierung: Verteilungen des Indikators RALI-Frage Nr.5 „Benötigte Aufmerksamkeit“ über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*

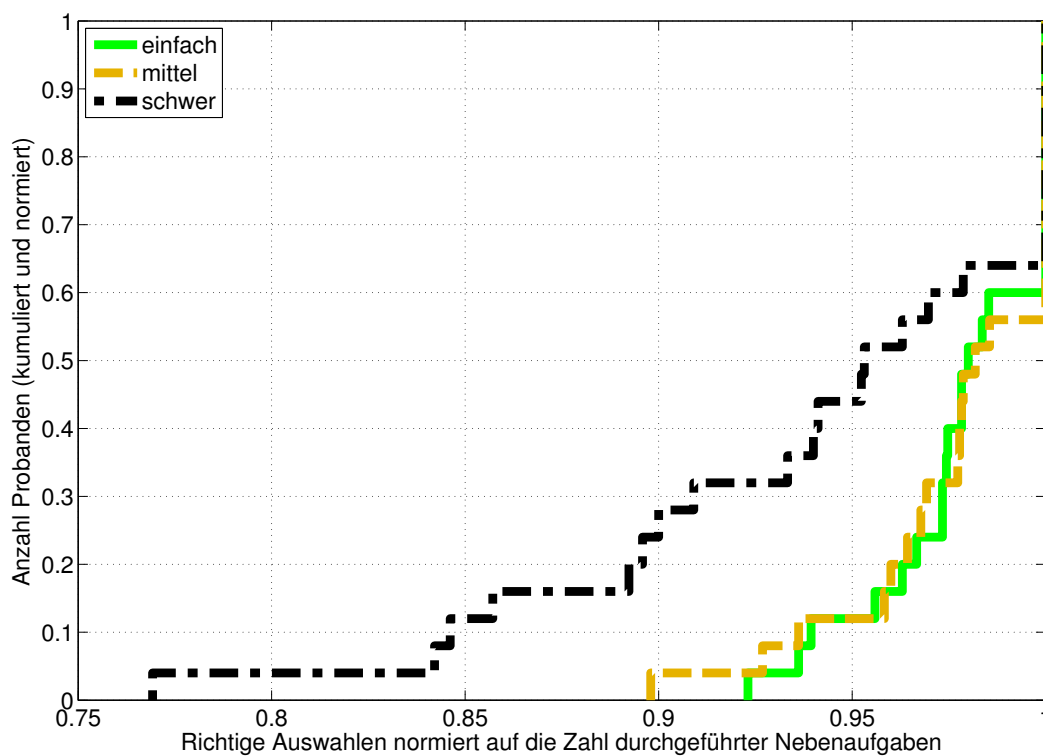
Paarungen	einfach - mittel	mittel -fordernd	mittel/fordernd - schwer
Verarbeitung: Signifikanzniveau Anzahl richtiger Eingaben normiert	$4,06 \cdot 10^{-4}$	$3,87 \cdot 10^{-1}$	$3,09 \cdot 10^{-3}$
Priorisierung: Signifikanzniveau Anzahl richtiger Eingaben normiert	$8,70 \cdot 10^{-1}$	-	$5,26 \cdot 10^{-3}$

**Tabelle 13.22:** Signifikanzniveaus zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Schwierigkeitsstufen in der Anzahl richtiger Eingaben in der Nebenaufgabe

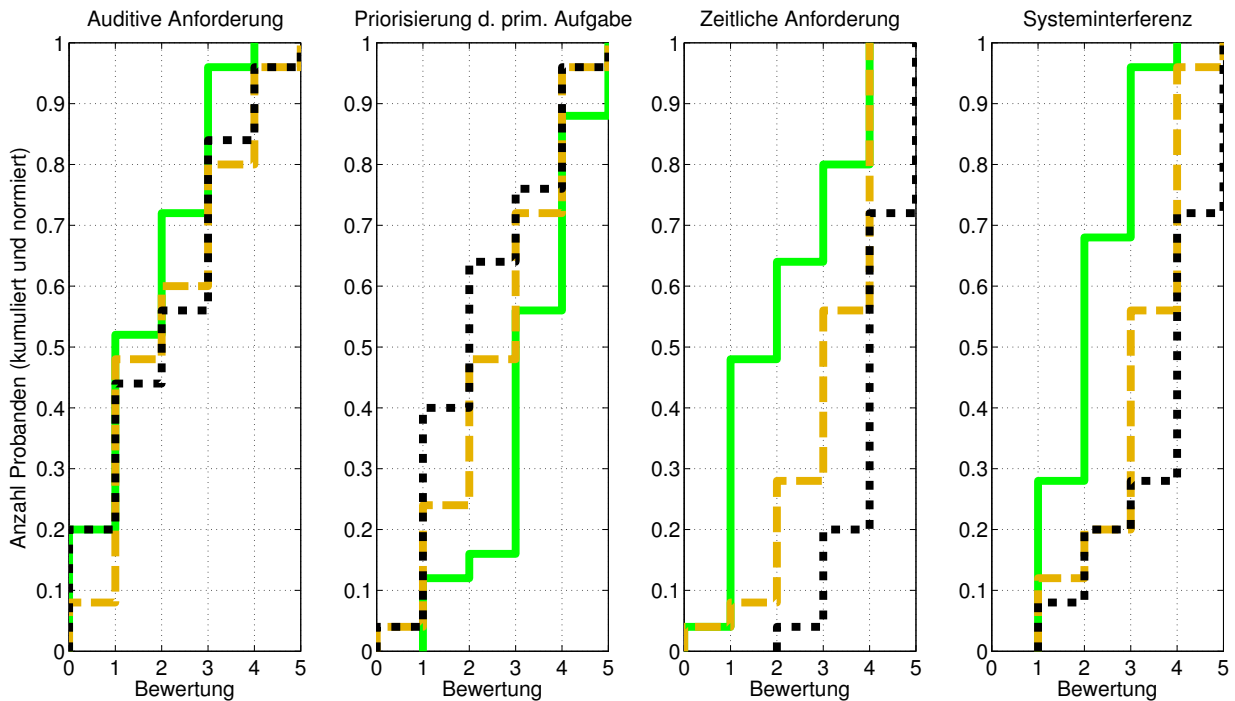




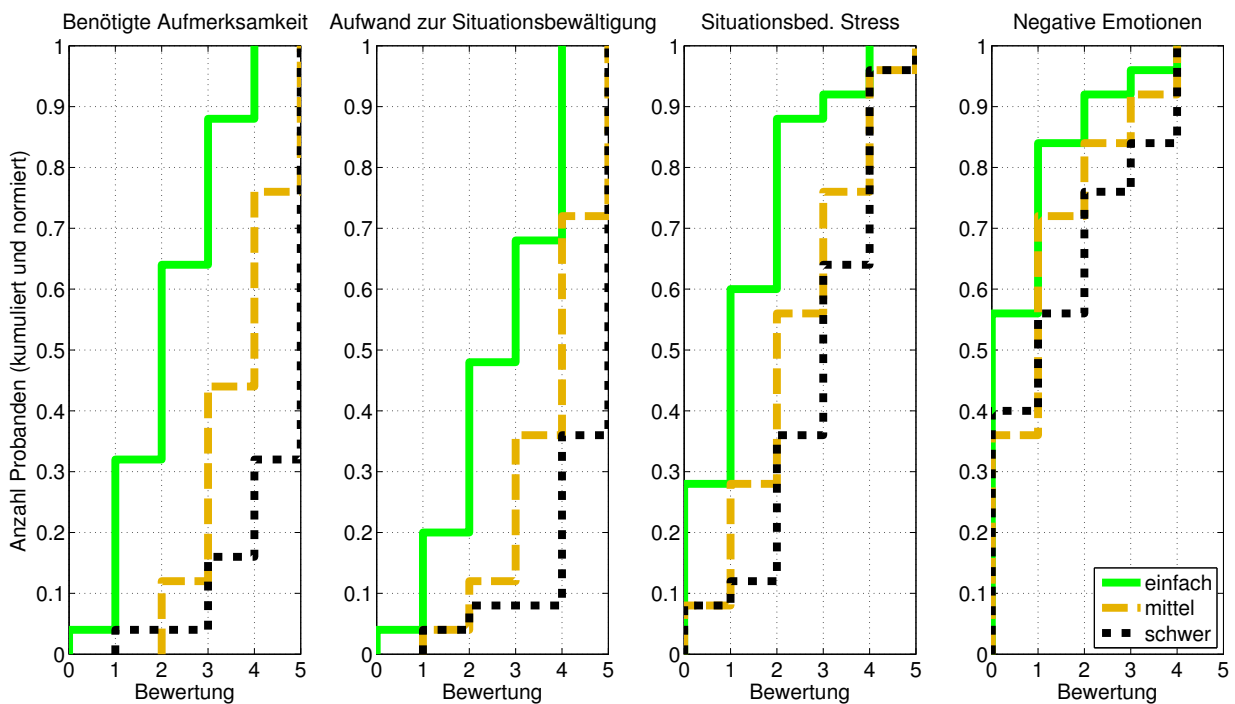
**Abbildung 13.46:** Verarbeitung: Verteilungen der Anzahl richtiger Eingaben normiert durch die Anzahl aller Eingaben über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*



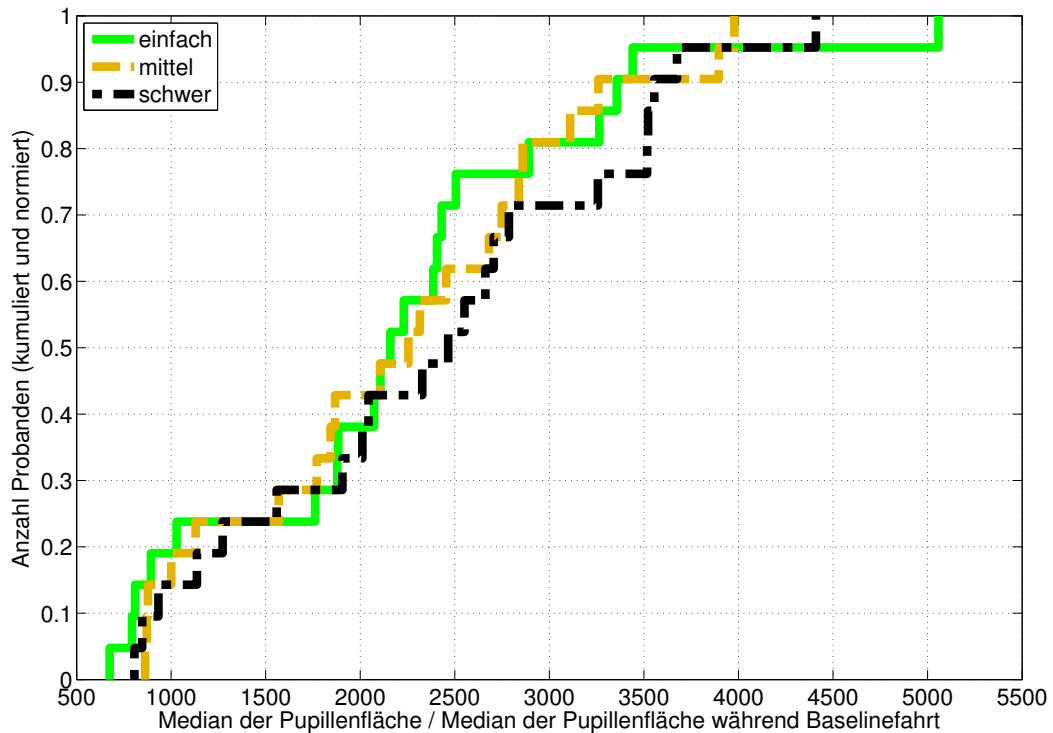
**Abbildung 13.47:** Priorisierung: Verteilungen der Anzahl richtiger Eingaben normiert durch die Anzahl aller Eingaben über den Schwierigkeitsgraden *einfach*, *mittel* und *schwer*



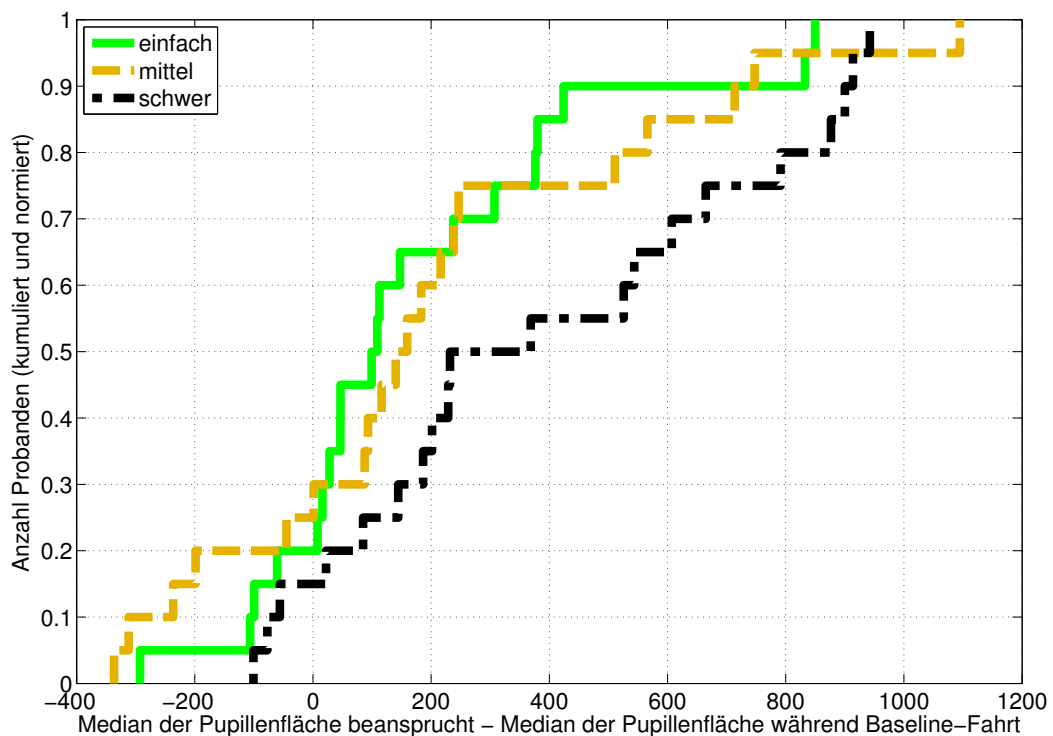
**Abbildung 13.48:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Ressourcen; Fragen 1 bis 4



**Abbildung 13.49:** Ergebnisse des Modifizierter Fragebogen Rider Activity Load index für die Studie Ressourcen; Fragen 5 bis 8

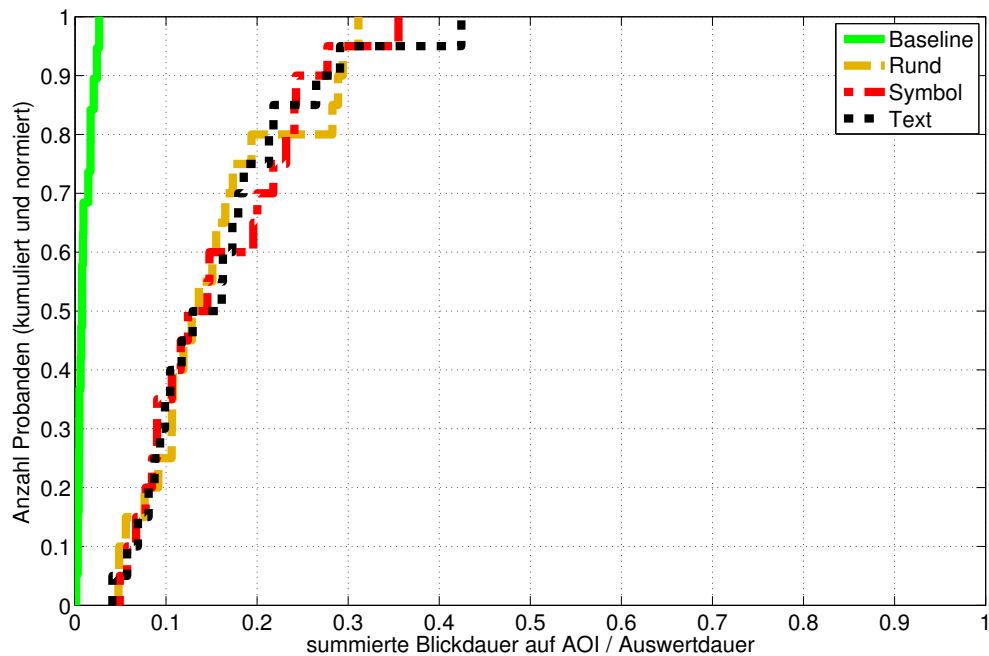


**Abbildung 13.50:** Verteilungen des Indikators Average-Pupil-Size über den Schwierigkeitsgraden leicht, mittel und schwer

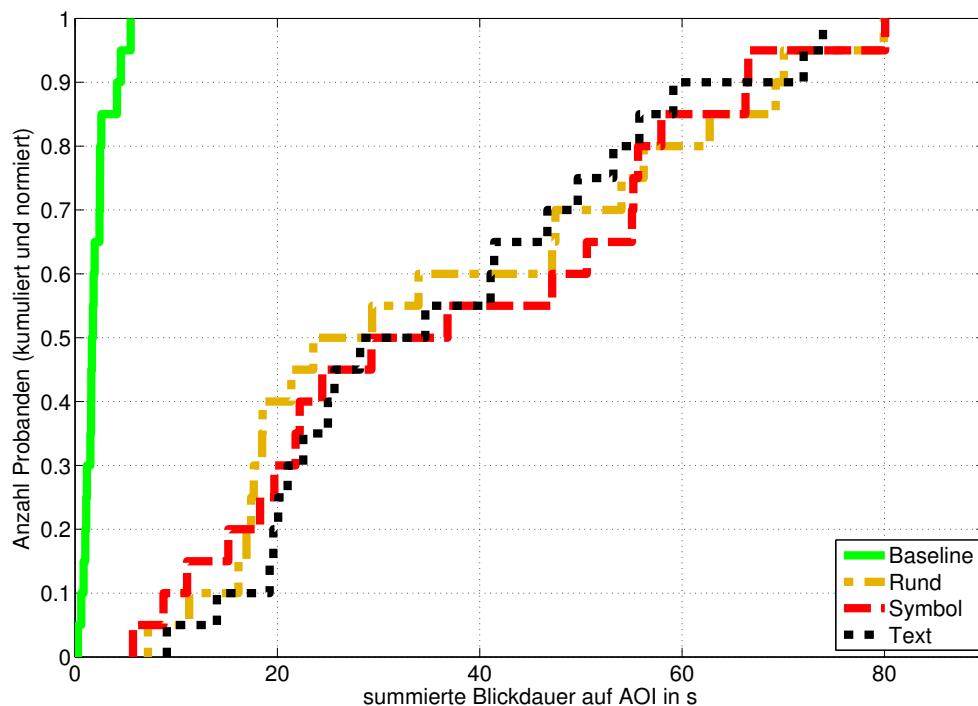


**Abbildung 13.51:** Verteilungen des Indikators Gesamte Flächenänderung der Pupille über den Schwierigkeitsgraden leicht, mittel und schwer

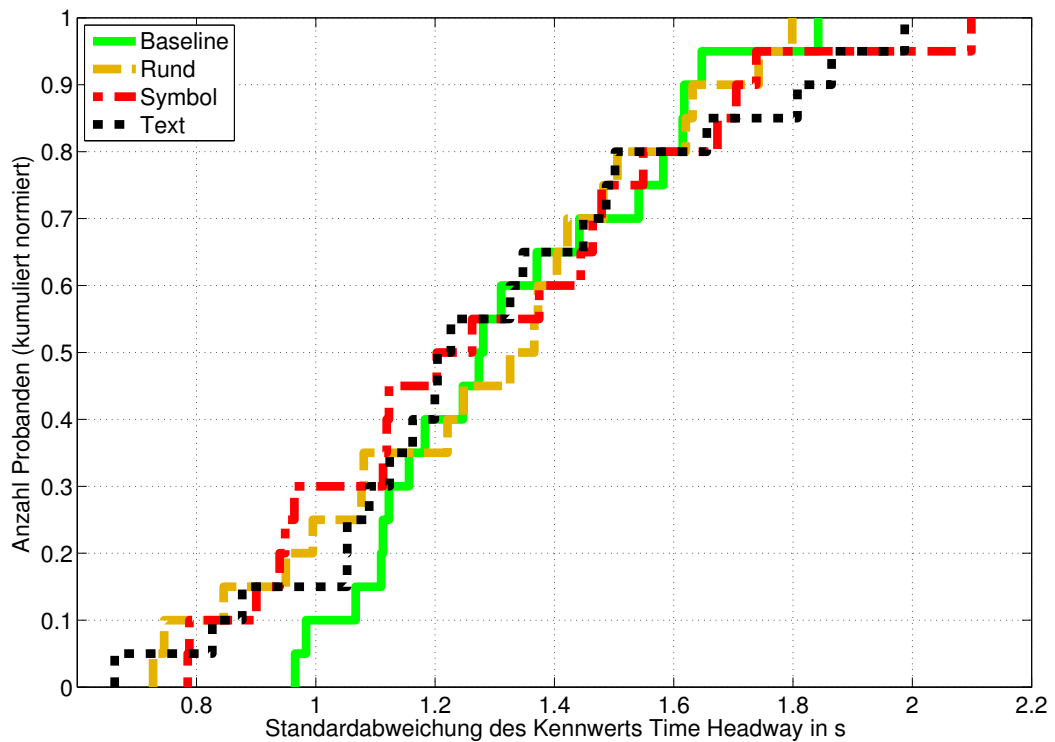
## 13.8 Ergänzungen zur Anwendung der Indikatoren in der Beispielstudie



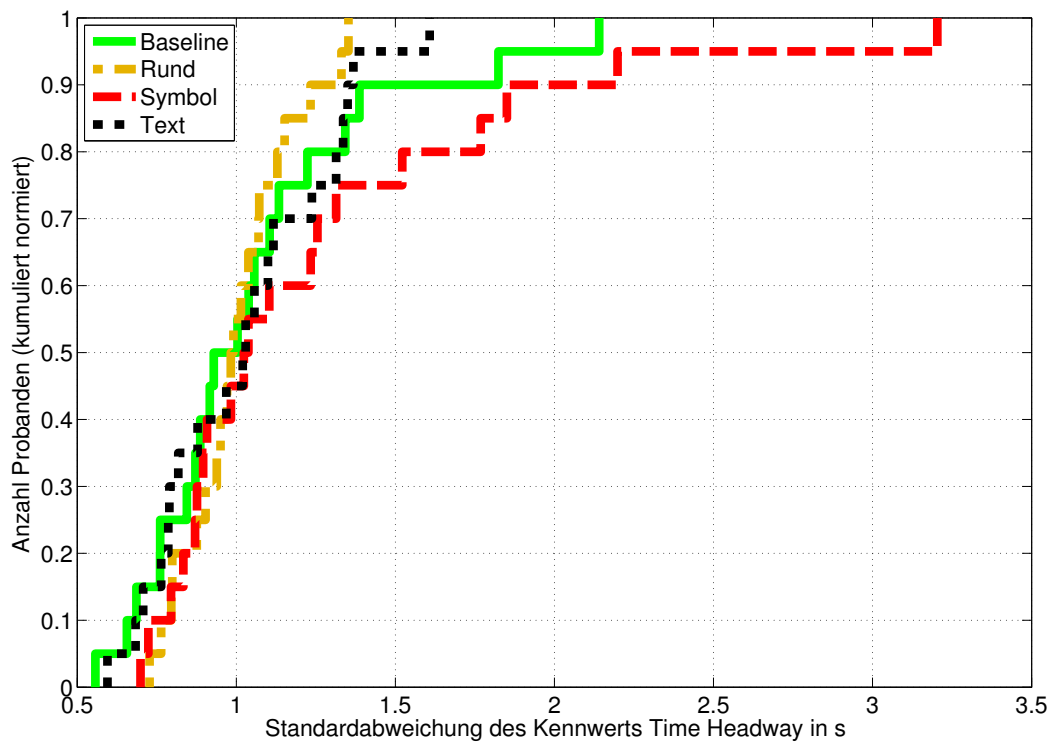
**Abbildung 13.52:** Verteilung des Indikators Attention-Ratio für die Teststrecke *NHTSA* über den Anzeigeausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*



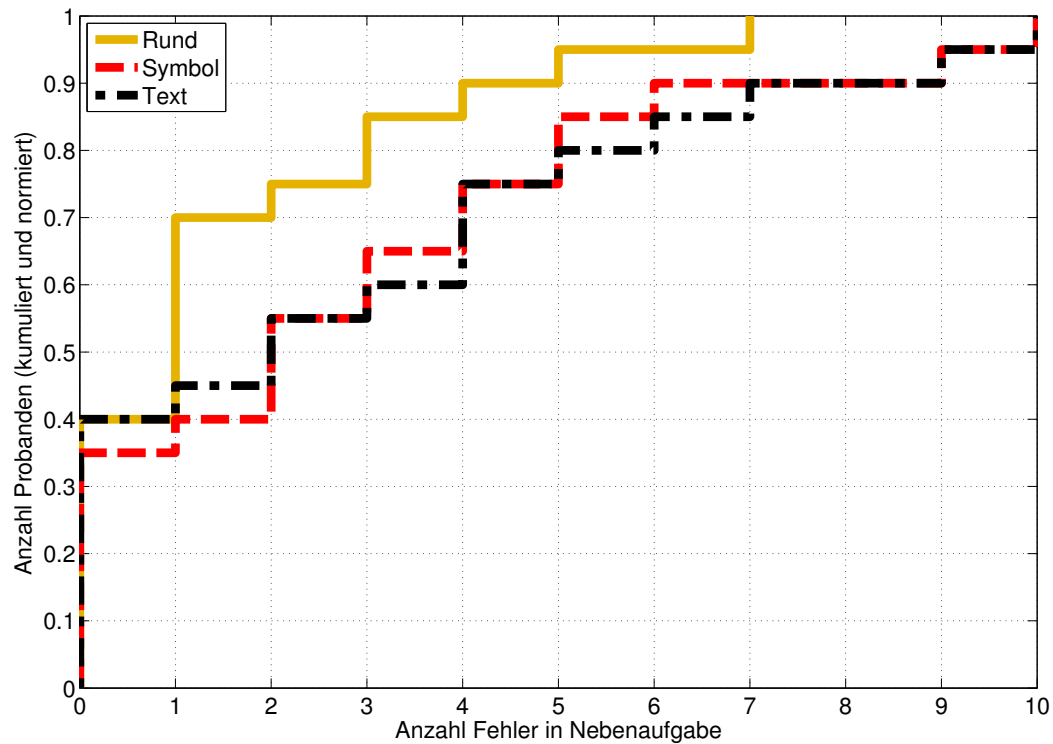
**Abbildung 13.53:** Verteilung des Indikators Attention-Ratio für die Teststrecke *Landstraße 2* über den Anzeigeausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*



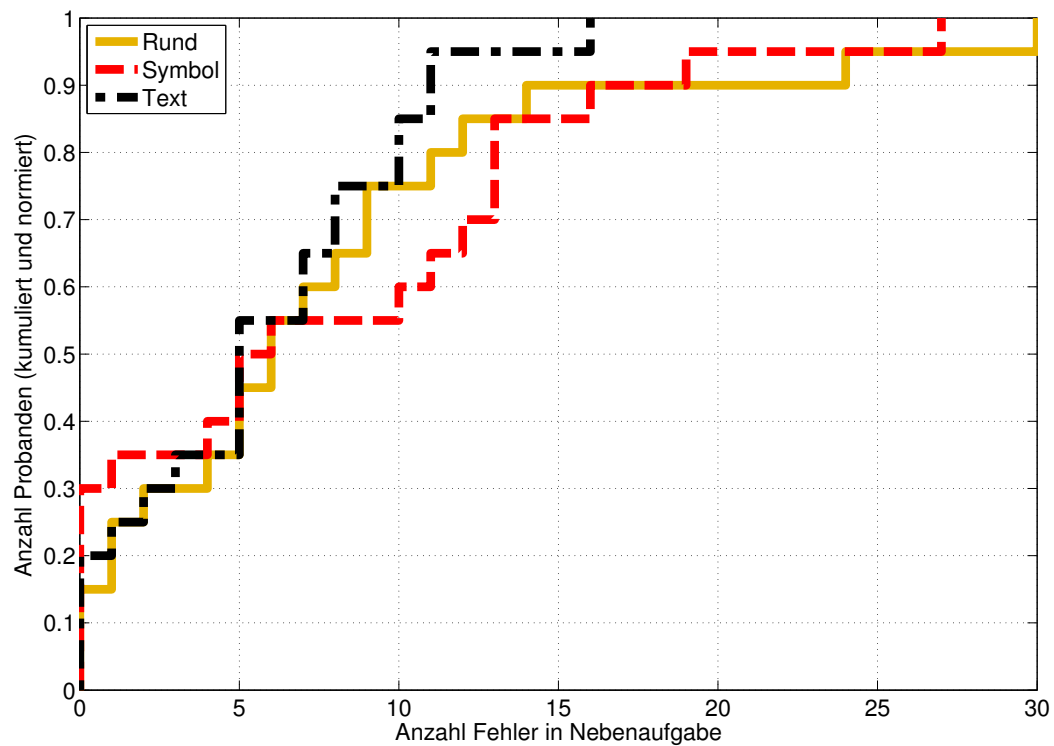
**Abbildung 13.54:** Verteilung des Indikators Standardabweichung der Zeitlücke für die Teststrecke *NHTSA* über den Anzeigeausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*



**Abbildung 13.55:** Verteilung des Indikators Standardabweichung der Zeitlücke für die Teststrecke *Landstraße 2* über den Anzeigeausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*



**Abbildung 13.56:** Verteilung der Anzahl Fehler für die Teststrecke *NHTSA* über den Anzeigerausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*



**Abbildung 13.57:** Verteilung der Anzahl Fehler für die Teststrecke *Landstraße 2* über den Anzeigerausprägungen *Rundinstrument*, *Symbol* und *Text*

---

# Literaturverzeichnis

- Heinrich, Christian (Hrsg.):** Fighting Driver Distraction - Worldwide Approaches. Daimler AG, 2013 – Technischer Bericht
- Allroad MC Touring:** 2015 ⟨URL: <http://allroadendurotouring.com/allroad-touring-enduros/big-allroad-touring-enduros/ktm-1190-adventure-touring-enduro/>⟩ – Zugriff am 13.07.2016
- Beatty, Jackson:** Task-Evoked Pupillary Responses, Processing Load, and the Structure of Processing Resources. Psychological Bulletin, 1982, 91(2), 276-292
- Bengler, Klaus:** Evaluation and Reduction of Driver Distraction and Diversion. Krakau, 06.11.2013 – Technischer Bericht
- Berghaus, Günter/Madea, Burkhard/Mußhoff, Frank (Hrsg.):** Verkehrsmedizin: Fahreignung, Fahrsicherheit, Unfallrekonstruktion. 2007
- Bernotat, Rainer:** Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. 1970
- Bibliographisches Institut GmbH:** Duden. Berlin, 2015 ⟨URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Fahrsicherheit>⟩ – Zugriff am 28.11.2015
- Blogo.it srl:** 2010 ⟨URL: <http://www.motoblog.it/galleria/test-honda-goldwing>⟩ – Zugriff am 13.07.2016
- BMW Motorrad:** Sicherheit braucht Taten. Keine Worte. Mit Sicherheit Freude am Fahren. München, 2015 ⟨URL: [http://www.bmw-motorrad.de/de/de/index.html?content=http://www.bmw-motorrad.de/de/de/safety\\\_concept/safetyconcept\\\_care.html\&prml\\\_action=\&notrack=1](http://www.bmw-motorrad.de/de/de/index.html?content=http://www.bmw-motorrad.de/de/de/safety\_concept/safetyconcept\_care.html\&prml\_action=\&notrack=1)⟩ – Zugriff am 28.11.2015
- Bubb, Heiner et al. (Hrsg.):** Automobilergonomie. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015, ISBN 978-3-8348-1890-4
- Buld, Susanne et al.:** Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bericht F93 2014
- Bundesministerium für Justiz und für Verbraucherschutz:** Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO). 26.04.2012 ⟨URL: [https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\\\_2012/BJNR067910012.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo\_2012/BJNR067910012.html)⟩ – Zugriff am 26.05.2016
- Buschle, Alexander; Hochschule Konstanz (Hrsg.):** Integration eines Eyetracking-Systems in einen Motorradhelm: Bachelor-Thesis. Fakultät Maschinenbau, 2014a – Technischer Bericht

- Buschle, Alexander; Hochschule Konstanz (Hrsg.):** Konstruktion des Grundgestells für ein Eyetracking-System: Projektarbeit. Fakultät Maschinenbau, 2014b – Technischer Bericht
- Cossalter, Vittore:** Motorcycle dynamics. [S.l: s.n.], 2008
- Department of Transportation - National Highway Traffic Safety Administration:** FMVSS No. 126, Electronic Stability Control Systems, Final Regulatory Impact Analysis. NHTSA, 2007
- Department of Transportation - National Highway Traffic Safety Administration:** Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices. 77. Auflage. NHTSA, 2012
- DIN 33401:** Stellteile; Begriffe, Eignung, Gestaltungshinweise. 1978
- Doz Nadal, Antonio; Technische Universität München (Hrsg.):** Evaluation of Acceleration Sensation induced by Proprioception on a Motorcycle Simulator. München, 2015 – Technischer Bericht, Master Thesis
- Driver Focus-Telematics Working Group:** Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems. 2002
- EN ISO 10075-1:** Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung - Teil 1: Allgemeines und Begriffe. 2000
- Enke, K.:** Überlegungen zum Zusammenwirken von Fahrzeuglenker und Automobil. Automobil-Industrie 1, 1966
- Fiala, E./Wallner, F.:** Untersuchung des Systems Fahrzeug-Fahrer bei einer Lenkung mit Zeitvorhalt. Forschungsbericht 47 1968
- Ftouni, S. et al.; Division of Sleep Medicine (Hrsg.):** Temporal dynamics of ocular indicators of sleepiness across sleep restriction. Boston, 2013 – Technischer Bericht
- Geiser, Georg:** Mensch-Maschine-Kommunikation. Band 87, Oldenbourg-Verlag, 1990, 77–84
- Green, Paul; CTEA (Hrsg.):** Driver Interface/HMI Standards to Minimize Driver Distraction/Overload. University of Michigan Transportation Research Institute, 2008 – Technischer Bericht
- Guth, Sebastian:** Motorcycle riding simulation to assess instrument and operation concepts and informing riding assistance systems. Köln, 2014
- Guth, Sebastian et al.:** Motorcycle Riding Simulator to assess Optical Distraction. In VI-grade Users Conference Proceedings. Wiesbaden, 2016, 12.-13.04.2016
- Guth, Sebastian et al.:** Motion cueing algorithm to reproduce motorcycle specific lateral dynamics on riding simulators. In Driving Simulation Conference and Exhibition. 2015, 16.-18.09.2015



- Guth, Sebastian et al.:** Concept of a Dynamic Motorcycle Riding Simulator with Rider Motion Determination using Vi-BikeRealTime. In VI-grade Users Conference Proceedings. Trieste, 15.-16.04.2016, VI-Grade Users Conference
- Hacker, Winfried:** Arbeitspsychologie. 1986
- Hanselka, Sven; Technische Universität Darmstadt (Hrsg.):** Entwicklung technischer Konzepte zur Immersionssteigerung an einem Motorradfahrsimulator. Institut für Fahrzeugtechnik, 2015 – Technischer Bericht, Bachelor Thesis
- Hansen, Melanie Christina:** Beweiswert rechtsmedizinischer Begutachungskriterien zur Feststellung der medikamentenbedingten relativen Fahrunsicherheit. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 2006
- Harley-Davidson Germany GmbH:** Road Glide. 2016  $\langle$ URL: [http://www.harley-davidson.com/de/\\_DE/Motorcycles/road-glide-special.html#!gallery](http://www.harley-davidson.com/de/_DE/Motorcycles/road-glide-special.html#!gallery) $\rangle$  – Zugriff am 13.07.2016
- Helfrich, Thomas et al.:** Honda Goldwing: Die Weltreisende.  $\langle$ URL: <http://www.motorradwallpaper.de/enzyklopaedie/Hersteller/Honda/Honda-Gold-Wing.php> $\rangle$  – Zugriff am 08.05.2016
- Hess, Eckhard H.:** Pupillometrics. In **Greenfield, Norman S./Sternbach, Richard A. (Hrsg.):** Handbook of Psychophysiology., 491–531
- Hill, Susan G. et al.:** Comparison of Four Subjective Workload Rating Scales. 1992
- House of Flames Ulm GmbH:** 2016  $\langle$ URL: <http://www.house-of-flames.com/Teile-Zubehoer/Multi-fit/Tacho-drehzahlmesser> $\rangle$
- International Organization of Motor Vehicle Manufacturers:** Recommended OICA Worldwide Distraction Guideline Policy Position. 2015  $\langle$ URL: <http://www.oica.net/wp-content/uploads/OICA-Position-Paper-Driver-Distraction-Final-2015-03-03.pdf> $\rangle$  – Zugriff am 16.05.2016
- Irwin, David E.:** Fixation Location and Fixation Duration as Indices of Cognitive Processing. 2004
- ISO 11429:1996:** Ergonomics - System of auditory and visual danger and information signals. International Organization for Standardization, 1996
- ISO 15005:2002:** Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems – Dialogue management principles and compliance procedures. International Organization for Standardization, 2002
- ISO 15008:2009; International Organization for Standardization (Hrsg.):** Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems – Specifications and test procedures for in-vehicle visual presentation. 2009

- ISO 16673:2007; International Organization for Standardization (Hrsg.):** Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems – Occlusion method to assess visual demand due to the use of in-vehicle systems. 2007
- ISO/TS 14198:2012; International Organization for Standardization (Hrsg.):** Road vehicles - Ergonomic aspects of transport information and control systems - Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in-vehicle systems. 2012
- Japan Automobile Manufacturers Association:** Guideline for In-vehicle Display Systems - Version 3.0. JAMA, 2004
- Johnson, David M.:** Introduction to and Review of Simulator Sickness Research. U.S. Army Research Institute - Rotary Wing Aviation Research Unit, 2005
- Kahneman, Daniel:** Attention and effort. Englewood Cliffs and N.J: Prentice-Hall, 1973, Prentice-Hall series in experimental psychology, 17–24, ISBN 9780130505187
- Kahneman, Daniel/Beatty, Jackson:** Pupil Diameter and Load on Memory. Science, 1966, 154(3756), 1583–1585
- Kirchner, Wayne K.:** Age differences in short-term retention of rapidly changing information. Journal of Experimental Psychology, 55 1958 Nr. 4, 352–358
- Kuschefski, Achim/Haasper, Matthias/André, Vallese:** Advanced Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers (ARAS-PTW). Deutschland, 2010
- Kutschera, Lothar:** Fit for fun. In Motorrad Fahren Gut und Sicher 2016  $\langle$ URL: <http://www.zweiradsicherheit.de/Sonderheft.pdf> $\rangle$  – Zugriff am 26.05.2016, 4
- Martens, H. Mareike/Winsum, W. van:** Measuring Distraction: The Peripheral Detection Task. Soesterberg and Niederlande, 2000
- Miller, Sarah:** Workload Measures: Literature Review. Iowa, 2001 – Technischer Bericht
- Miura, T.:** Coping with situation demands: A study of eye movements and peripheral vision performance. Amsterdam: Elsevier, 1986
- Negele, Hans-Jürgen:** Anwendungsgerechte Konzipierung von Fahrsimulatoren für die Fahrzeugentwicklung. 2007  $\langle$ URL: <http://books.google.com/books?id=5uNPnQEACAAJ> $\rangle$
- Neumann, Günter et al.:** Sehstörungen nach Hirnschädigungen - Ein Ratgeber für Betroffene und Angehörige. Washington: hogrefe, 2015
- Nietschke, Rainer et al.:** Blutdruck- (RR), Herzfrequenz- (HF) und Energieprofil- (EP) Veränderungen korreliert zum Alter (Jahre), zum Body Mass Index (BMI), zur körperlichen Fitness (h/Woche) und zum Motorradfahren – beruflich und in der Freizeit – beim Langzeitmotorradfahren männlicher Normalpersonen. Institut für Zweiradsicherheit e.V., 2008 – Technischer Bericht

- O'Donnell, Robert D./Eggemeier, F. Thomas:** Workload assessment methodology. In Handbook of perception and human performance. Band II, 1986, pp 42/1–42/49
- Parduzi, Arben:** Fahrdynamik-Optimierung und Versuchsdurchführung am dynamischen BMW Motorrad-Fahrsimulator zur vergleichenden Bewertung von zwei Motorrad-Anzeigekonzepten. Technische Universität Berlin, Fachgebiet für Fahrerverhaltensbeobachtung für energetische Optimierung und Unfallvermeidung, 2016 – Technischer Bericht
- Pauzié, Annie:** A method to assess the driver mental workload: The driving activity load index (DALI). IET Intelligent Transport Systems 2 2008 Nr. 4
- Pauzié, Annie/Gelau, Christhard/Aupetit, Samuel:** Safety evaluation methodology of ITS for riders. Systeme de Transport Intelligent 2009
- Ranney, Thomas A.:** Driver Distraction: A Review of the Current State-of-Knowledge. Washington, 2008 – Technischer Bericht
- Ranney, Thomas A. et al.:** Measuring Distraction Potential of Operating In-Vehicle Devices. 2009
- Ranney, Thomas A. et al.:** Characteristics of Voice-Based Interfaces for In-Vehicle Systems and Their Effects on Driving Performance. Springfield and Virginia, 2007
- Rasmussen, Jens:** Skills, rules, and knowledge: Signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. In IEEE transactions on systems, man and cybernetics. Band SMC 13,, 257–266
- Rheinberg, Falko:** Immer im Flow? Motivationsanalysen zu riskantem Motorradfahren. 2000
- Rohmert, W./Rutenfranz, J.:** Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Der Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit, 1975
- Rubio, Susana et al.:** Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. 53. Auflage. Applied Psychology, 2003
- Sanchez-Vives, Maria Victoria/Slater, Melvyn:** From presence to consciousness through virtual reality. Nature Reviews Neuroscience, 6 2005 Nr. 4, 332–339
- Schell, Marco; München, Technische Universität (Hrsg.):** Untersuchungen zur Mensch-Maschine-Schnittstelle am motorisierten Zweirad: Dissertation. München, 2002 – Technischer Bericht
- Scheuchpflug, Rainer:** Measuring Presence in Virtual Environments. HCI International, 2001, p 56–58
- Schindhelm, Roland et al.; Information Society Technologies (IST) Programme (Hrsg.):** Report on the review of the available guidelines and standards. Adaptive Integrated Driver-Vehicle Interface - AIDE, 2004 – Technischer Bericht

- Sepehr, M.:** NASA Task Load Index: Deutsche Version. Berlin, 1988 – Technischer Bericht
- Slater, Melvyn:** Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8 1999 Nr. 5, 560–565
- Slater, Melvyn et al.:** How we experience immersive virtual environments: the concept of presence and its measurement. *Anuario de Psicología*, 2009, vol. 40, p. 193-210 2009
- TEN: The Enthusiast Network:** 1993 Eunos/Mazda Cosmo Classic Drive Uncosmopolitan: Meet the Rarest Mazda in America. 2013 (URL: <http://www.motortrend.com/news/12q2-1993-eunos-mazda-cosmo-drive/>) – Zugriff am 08.05.2016
- The Commission Of The European Communities:** Commission Recommendation of 22 December 2006 on safe and efficient in-vehicle information and communication systems: Update of the European Statement of Principles on human machine interface. 2006
- Vollrath, Mark et al.; Unfallforschung der Versicherer - GDV (Hrsg.):** Ablenkung durch Informations- und Kommunikationssysteme. Berlin, 2015 – Technischer Bericht
- Waard, Dick de:** The measurement of drivers' mental workload. Haren: The Traffic Research Centre VSC, University of Groningen, 1996, ISBN 9789068073089
- Weiß, Christel (Hrsg.):** Basiswissen Medizinische Statistik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, 134ff.
- Wickens, Christopher D.; Roberts, Nancy (Hrsg.):** Engineering Psychology and Human Performance. New York: Prentice-Hall Inc., 1992, pp 349
- Wickens, Christopher D./Hollands, Justin:** Engineering psychology and human performance. 3. Auflage. Upper Saddle River and NJ: Prentice Hall, 1999, pp 439, ISBN 0321047117
- Wickens, Christopher D./Hollands, Justin G.:** Engineering psychology and human performance. Pearson Education, 1984, pp 439
- Winner, Hermann et al. (Hrsg.):** Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015, ATZ / MTZ-Fachbuch, ISBN 9783658057343
- Young, Kristie/Regan, Michael/Hammer, Mike; Monash University (Hrsg.):** Driver distraction: a review of the literature. Accident Research Centre, 2003 – Technischer Bericht
- Zomotor, A./Reimpell, J:** Fahrwerktechnik: Fahrverhalten. Band 2, Vogel Buchverlag, 1991, pp 203–220
- Zwerenz, Karlheinz (Hrsg.):** Statistik: Einführung in die computergestützte Datenanalyse. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2007, 345ff.

# Lebenslauf

## Persönliche Daten

Name: Sebastian Guth  
Geburtsdatum: 16. Oktober 1986  
Geburtsort: Bad Wildungen  
Staatsangehörigkeit: deutsch

## Schulzeit

09/1997 – 07/2006    Gustav-Stresemann-Gymnasium, Bad Wildungen  
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

## Studium

10/2007 – 03/2011    Technische Universität Darmstadt  
Mechanical and Process Engineering  
Abschluss: Bachelor of Science  
03/2011 – 05/2013    Technische Universität Darmstadt  
Mechatronik, Schwerpunkt: Automotive Mechatronics  
Abschluss: Master of Science

## Kurzzusammenfassung

Nach einer Definition von Fahrsicherheit bezogen auf den Einfluss von Anzeigekonzepten erfolgte eine Analyse des Einflusses von Anzeigekonzepten auf den Fahrer bezüglich des visuellen Informationsverarbeitungsprozesses. Das Ergebnis der Analyse stellt die Forderung dar, dass Indikatoren zur Beobachtung der Prozesse Detektion, Verarbeitung, Priorisierung, Ausführung und den Aufmerksamkeitsressourcen gefunden werden müssen.

Anhand einer Analyse der für den Pkw-Sektor existierenden Richtlinien zeigte sich, dass diese Richtlinien Indikatoren für alle genannten zu überwachenden Prozessschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen vorschlagen. Jedoch kann der Beurteiler zwischen verschiedenen Versuchskonfigurationen wählen, in denen jeweils nur eine Untermenge der Indikatoren geprüft wird. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studien haben gezeigt, dass die Erfassung aller ausgewählten Indikatoren notwendig ist, um bereits geringfügige Einflüsse auf die Fahrsicherheit durch Anzeigekonzepte detektieren zu können. Somit erfolgt durch keine der Versuchskonfigurationen aus den aktuellen Richtlinien eine vollständige Prüfung der Prozessschritte sowie der Aufmerksamkeitsressourcen für den PTW-Sektor.

Die Beanspruchung von PTW-Fahrern reicht abhängig von der Fahrsituation von Unterforderung bis Überforderung, sodass ein PTW-Fahrer bereits ohne Bedienung eines ABk überfordert werden kann. Um dennoch eine Bewertung von Anzeigekonzepten zu ermöglichen, wurde für diese Arbeit ein Vorgehen zum relativen Vergleich von zwei Anzeigekonzepten erarbeitet, sodass die Beanspruchungsänderung durch den Wechsel eines Anzeigekonzepts beobachtbar wird. Durch die Beobachtung der Prozessschritte sowie der Aufmerksamkeitsressourcen entsteht somit ein mehrdimensionaler relativer Vergleich.

Es wurde gezeigt, dass die Wahl jedes Indikators zu Anforderungen an die Messumgebung führt und umgekehrt. Deshalb erfolgte eine Vorauswahl aus recherchierten Indikatoren anhand der zur Verfügung stehenden Messumgebung. Die vorausgewählten Indikatoren wurden bzgl. ihres Vermögens die Prozessschritte sowie die Aufmerksamkeitsressourcen zu beobachten anhand von Probandenstudien untersucht. Hierzu erfolgten im Rahmen von Probandenstudien Untersuchungen, innerhalb welcher Beanspruchungsbereiche der jeweilige Indikator differenzierbare Ergebnisse zeigt (Bandbreite), wie feingranular gegenüber Änderungen der Beanspruchungen unterschieden wird (Sensitivität) und ob der Indikator auch durch Änderungen in anderen Prozessschritten oder den Ressourcen beeinflusst wird (Validität). Die Prozessschritte (Aufzählung links) sind wie folgt mit den Indikatoren (Aufzählung rechts) verknüpft:

Detektion:	Attention-Ratio
Verarbeitung:	Mean-Glance-Duration
Priorisierung:	Standardabweichung der Zeitlücke
Aufmerksamkeitsressourcen:	Anzahl pos./neg. Durchführungen der Nebenaufgabe

Somit ist eine vollständige Prüfung der Fahrsicherheit bzgl. des Einflusses von Anzeigekonzepten nur gegeben, wenn alle genannten Prozessschritte und die Aufmerksamkeitsressourcen beobachtet werden.

Durch eine abschließende Studie erfolgte der Vergleich von drei Bordcomputer-Anzeigekonzepten. Die erwarteten Unterschiede im Prozessschritt Verarbeitung zwischen den Konzepten wurden erfolgreich nachgewiesen. Somit erfolgte eine erste Bestätigung zur Anwendbarkeit der ausgewählten Indikatoren.